

Porovnání měřicích systémů fakturačního měření v odběrných místech vn při různých provozních stavech DS

Comparison of Measuring Systems of Billing Measurement in MV

Consumption Points at Different Operating States

Bc. Pavel Golomb

Diplomová práce

Vedoucí práce: Ing. Petr Kačor, Ph.D.

Ostrava, 2021

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval svému vedoucímu diplomové práce Ing. Petrovi Kačorovi, Ph.D. nejen za velmi cenné rady a připomínky, ale také i za věnovaný čas. Nemůžu opomenout velkou podporu v rodině a mé kolegy ze zaměstnání, kteří mi při konzultacích věnovali svůj čas nad rámec pracovních povinností.

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na měřicí systémy v třífázových soustavách, sloužící k fakturačnímu měření spotřeby elektrické energie v odběrných místech zákazníků, připojených k napěťové hladině vysokého napětí. V práci je popsán princip měření a technické či legislativní požadavky na měření. Dále jsou popsány různé systémy nepřímého měření umístěného na sekundární nebo na primární straně silového transformátoru, jejich způsobu zapojení a srovnání vlastností. Praktická část diplomové práce je zaměřena na srovnání rozdílných měřicích systémů při poruchových stavech v distribuční soustavě. Srovnání se provádí na základě skutečně naměřených dat.

Klíčová slova

Elektrický výkon, fakturační měření, měřicí systémy, Aronovo zapojení, zemní spojení, vysoké napětí

Abstract

The presented diploma thesis is focused on measuring sets in three-phase systems that are used for invoicing measurement of electricity consumption in customer supply points connected to the high voltage transmission line. The thesis defines the principles of measurement and their technical and legislative requirements. There are also described various systems of indirect measurement located on the secondary or primary side of the power transformer, their method of connection and comparison of their characteristics. The practical section of the diploma thesis is concentrated on the comparison of different measuring systems in fault conditions in the distribution system. The comparison is made based on the real-life measured data.

Key words

Electric power, billing measurement, measuring sets, Aron connection, ground fault, high voltage

Obsah

1.	Úvod	10
2.	Legislativní požadavky	11
2.1	Vymezení pojmů	11
2.2	Vymezení povinností PDS, výrobců a zákazníků	12
2.3	Zvláštní požadavky na fakturační měření	13
2.4	Rozdělení měření	13
2.4.1	Rozdělení dle způsobu měření	13
2.4.2	Rozdělení dle typu měření	13
2.5	Fakturační měření elektřiny	15
3.	Měření výkonu elektrického proudu	17
3.1	Měřicí a vyhodnocovací interval	17
3.2	Definice měřených veličin	17
3.2.1	Harmonické průběhy	17
3.2.2	Neharmonické průběhy	18
3.3	Měření spotřeby elektrické energie	19
3.4	Měření výkonu střídavého proudu v třífázových soustavách	19
3.4.1	Měření činného výkonu v symetrické čtyřvodičové soustavě se souměrnou zátěží	20
3.4.2	Měření činného výkonu v symetrické třívodičové soustavě se souměrnou zátěží	21
3.4.3	Měření činného výkonu ve čtyřvodičové souměrné soustavě s nesouměrnou zátěží..	22
3.4.4	Měření činného výkonu v třívodičové souměrné soustavě s nesouměrnou zátěží	23
3.4.5	Měření činného výkonu v souměrné třívodičové soustavě v Aronově zapojení	24
3.5	Realizace měření v odběrných místech	25
3.5.1	Přístroje měřící spotřebu elektrické energie	25
3.5.2	Přímé měření	27
3.5.3	Nepřímé měření	28
3.5.4	Sekundární měření	29
3.5.5	Primární dvousystémové měření v třívodičové síti	30
3.5.6	Primární třísystémové měření v třívodičové síti	31
4.	Stavy v distribuční soustavě	32
4.1	Zemní spojení	32
4.2	Zkrat	32
4.2.1	Účinky zkratů	32

4.2.2	Dokonalý zkrat.....	33
4.2.3	Nedokonalý zkrat.....	33
4.2.4	Obloukový zkrat.....	33
4.2.5	Souměrný zkrat.....	33
4.2.6	Nesouměrný zkrat	34
4.3	Normální provozní stav	36
4.4	Poruchový stav při zemní spojení.....	36
5.	Analýza naměřených dat	37
5.1	Případ A	37
5.1.1	Analýza naměřeného maxima	39
5.1.2	Analýza naměřených dat ze dne 20. 6.....	40
5.1.3	Analýza naměřených hodnot okolních odběrných míst.....	42
5.1.4	Závěrečná analýza případu A.....	45
5.2	Případ B	46
5.2.1	Analýza naměřeného maxima	47
5.2.2	Analýza naměřených dat ze dne 10. 3. – 11. 3.....	48
5.2.3	Analýza naměřených hodnot okolních odběrných míst.....	50
5.2.4	Závěr analýzy případu B	53
5.3	Případ C	54
5.3.1	Analýza naměřeného maxima	55
5.3.2	Analýza naměřených dat ze dne 4. 1.....	56
5.3.3	Analýza naměřených hodnot okolních odběrných míst.....	58
5.3.4	Analýza poruchového stavu	61
5.3.5	Závěrečná analýza případu C.....	67
6.	Závěr	68
7.	Seznam literatury	69

Seznam použitých symbolů a zkratek

$+A, +P$	$[Wh, kWh, MWh]$	<i>Odběr činné elektrické energie</i>
$-A, -P$	$[Wh, kWh, MWh]$	<i>Dodávka činné elektrické energie</i>
$\cos \varphi$	$[-]$	<i>Účíník</i>
<i>dolní index 1,2,3</i>		<i>Označení čísla fáze</i>
DS		<i>Distribuční soustava</i>
f	$[Hz]$	<i>Frekvence</i>
I	$[A]$	<i>Efektivní hodnota proudu</i>
$i(t)$	$[A]$	<i>Okamžitá hodnota proudu</i>
$L1, L2, L3$		<i>Fázové vodiče</i>
LCD		<i>Displej z kapalných krystalů, Liquid Crystal Display,</i>
MT		<i>Měřicí transformátor</i>
MTN		<i>Měřicí transformátor napětí</i>
MTP		<i>Měřicí transformátor proudu</i>
N		<i>Údaj z Wattmetru</i>
n		<i>Počet závitů</i>
NN		<i>Nízké napětí</i>
ω	$[rad.s^{-1}]$	<i>Úhlová frekvence</i>
P	$[W, kW, MW]$	<i>Činný výkon</i>
$p(t)$	$[W, kW, MW]$	<i>Okamžitá hodnota činného výkonu</i>
PDS		<i>Provozovatel distribuční soustavy</i>
Q	$[VAR, kVAR, MVAR]$	<i>Jalový výkon</i>
R	$[\Omega]$	<i>Elektrický odpor</i>
$+Rc$	$[VARh, kVARh, MVARh]$	<i>Odběr jalové kapacitní energie při dodávce činné energie</i>
$+Ri$	$[VARh, kVARh, MVARh]$	<i>Odběr jalové induktivní energie při odběru činné energie</i>
$-Rc$	$[VARh, kVARh, MVARh]$	<i>Dodávka jalové kapacitní energie při odběru činné energie</i>
$-Ri$	$[VARh, kVARh, MVARh]$	<i>Dodávka jalové induktivní energie při dodávce činné energie</i>

S	$[VA, kVA, MVA]$	<i>Zdánlivý výkon</i>
T	$[s]$	<i>Perioda</i>
t	$[s, min, hod]$	<i>Čas</i>
U	$[V, kV]$	<i>Efektivní hodnota napětí</i>
$u(t)$	$[V, kV]$	<i>Okamžitá hodnota napětí</i>
U_f	$[V, kV]$	<i>Fázové napětí</i>
U_s	$[V, kV]$	<i>Sdružené napětí</i>
VN		<i>Vysoké napětí</i>
VVN		<i>Velmi vysoké napětí</i>
W	$[W, kW, MW]$	<i>Elektrická práce</i>
φ	$[rad]$	<i>Fázové posuvy mezi příslušnými U a I</i>

Seznam obrázků

Obr. 1 Znázornění přiřazení toku energie do příslušných kvadrantů.....	15
Obr. 2 Příklad naměřených hodnot získaných z fakturačního elektroměru	16
Obr. 3 Výkonový trojúhelník	18
Obr. 4 Měření činného výkonu souměrné zátěže ve čtyřvodičové souměrné soustavě	20
Obr. 5 Měření činného výkonu souměrné zátěže ve třívodičové symetrické soustavě.....	21
Obr. 6 Měření činného výkonu nesouměrné zátěže ve čtyřvodičové souměrné soustavě	22
Obr. 7 Měření činného výkonu nesouměrné zátěže ve třívodičové souměrné soustavě	23
Obr. 8 Měření činného výkonu nesouměrné zátěže v třívodičové soustavě v Aronově zapojení	24
Obr. 9 Příklady indukčních elektroměrů	25
Obr. 10 Elektronický elektroměr.....	26
Obr. 11 Blokové schéma elektronického elektroměru.....	26
Obr. 12 Zapojení přímého měření.....	27
Obr. 13 Přímé měření	27
Obr. 14 Ukázka zapojení nepřímého měření	28
Obr. 15 Zapojení sekundárního nepřímého měření.....	29
Obr. 16 Primární dvousystémové měření v třívodičové síti	30
Obr. 17 Primární třísystémové měření v třívodičové síti	31
Obr. 18 Zemní spojení.....	32
Obr. 19 Třífázový zkrat	34
Obr. 20 Třífázový zemní zkrat.....	34
Obr. 21 Dvufázový zkrat	34
Obr. 22 Dvufázový zemní zkrat.....	35
Obr. 23 Jednofázový zkrat	35
Obr. 24 Simultánní zkrat.....	35
Obr. 25 Normální provozní stav, fázory.....	36
Obr. 26 Poruchový stav, fázory.....	36
Obr. 27 Roční průběh odebraného činného výkonu odběrného místa A1	38
Obr. 28 Roční průběh dodaného činného výkonu odběrného místa A1	38
Obr. 29 Dvoudenní průběh při odběru činného výkonu místa A1.....	39
Obr. 30 Dvoudenní průběh při dodávce činného výkonu místa A1.....	39
Obr. 31 Průběh fázových napětí místa A1	40
Obr. 32 Průběh při odběru činného výkonu místa A1 s vyznačenou dobou zemního spojení	40
Obr. 33 Průběh při dodávce činného výkonu místa A1 s vyznačenou dobou zemního spojení	41
Obr. 34 Průběh dodávky a odběru činného výkonu místa A1 s vyznačenou dobou zemního spojení ...	41
Obr. 35 Měsíční průběh odebraného činného výkonu odběrného místa A2	42
Obr. 36 Dvoudenní průběh při odběru činného výkonu místa A2.....	43
Obr. 37 Průběh při odběru činného výkonu místa A2 s vyznačenou dobou zemního spojení	43
Obr. 38 Měsíční průběh odebraného činného výkonu odběrného místa A3	44
Obr. 39 Dvoudenní průběh při odběru činného výkonu místa A3.....	44
Obr. 40 Průběh při odběru činného výkonu místa A3 s vyznačenou dobou zemního spojení	45
Obr. 41 Roční průběh odebraného činného výkonu odběrného místa B1	46
Obr. 42 Roční průběh dodaného činného výkonu odběrného místa B1	47

<i>Obr. 43 Dvoudenní průběh při odběru činného výkonu místa B1</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 44 Dvoudenní průběh při dodávce činného výkonu místa B1</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 45 Průběh fázových napětí místa B1</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 46 Průběh při odběru činného výkonu místa B1 s vyznačenou dobou zemního spojení.....</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 47 Průběh při dodávce činného výkonu místa B1 s vyznačenou dobou zemního spojení</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 48 Měsíční průběh odebraného činného výkonu odběrného místa B2</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 49 Dvoudenní průběh při odběru činného výkonu místa B2</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 50 Průběh při odběru činného výkonu místa B2 s vyznačenou dobou zemního spojení.....</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 51 Měsíční průběh odebraného činného výkonu odběrného místa B3</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 52 Dvoudenní průběh při odběru činného výkonu místa B3</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 53 Průběh při odběru činného výkonu místa B3 s vyznačenou dobou zemního spojení.....</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 54 Roční průběh odebraného činného výkonu odběrného místa C1</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 55 Roční průběh dodaného činného výkonu odběrného místa C1</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 56 Dvoudenní průběh při odběru činného výkonu místa C1</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 57 Dvoudenní průběh při dodávce činného výkonu místa C1</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 58 Průběh fázových napětí místa C1</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 59 Průběh při odběru činného výkonu místa C1 s vyznačenou dobou zemního spojení.....</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 60 Průběh při dodávce činného výkonu místa C1 s vyznačenou dobou zemního spojení.....</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 61 Měsíční průběh odebraného činného výkonu odběrného místa C2.....</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 62 Dvoudenní průběh při odběru činného výkonu místa C2</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 63 Průběh při odběru činného výkonu místa C2 s vyznačenou dobou zemního spojení.....</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 64 Měsíční průběh odebraného činného výkonu odběrného místa C3.....</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 65 Dvoudenní průběh při odběru činného výkonu místa C3</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 66 Průběh při odběru činného výkonu místa C3 s vyznačenou dobou zemního spojení.....</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 67 Průběh fázových napětí místa C1 7. 8.</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 68 Dvoudenní průběh při odběru činného výkonu místa C1 7.8. – 8.8.</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 69 Dvoudenní průběh při dodávce činného výkonu místa C1 7.8. – 8.8</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 70 Průběh při odběru činného výkonu místa C1 s vyznačenou dobou zemního spojení 7. 8.</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 71 Průběh při dodávce činného výkonu místa C1 s vyznačenou dobou zemního spojení 7. 8.</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 72 Průběh fázových napětí místa C1, třísystémové měření.....</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 73 Dvoudenní průběh při odběru činného výkonu místa C1, třísystémové měření</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 74 Dvoudenní průběh při dodávce činného výkonu místa C1, třísystémové měření</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 75 Průběh při odběru činného výkonu místa C1 s vyznačenou dobou zemního spojení, třísystémové měření</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 76 Průběh při dodávce činného výkonu místa C1 s vyznačenou dobou zemního spojení, třísystémové měření</i>	<i>66</i>

1. Úvod

Měření elektrických veličin v distribuční soustavě je podstatné pro její spolehlivé provozování, obnovu a rozvoj. Naměřené údaje z provozních měřidel vypovídají o aktuálním stavu v distribuční soustavě. Může se jednat o nedostatek nebo přebytek výkonu, různé poruchové stavy vzniklé zásahem člověka či zásahem vyšší moci. Dispečer provozovatele distribuční soustavy na základě naměřených údajů řídí toky elektřiny vhodnou manipulací prvků distribuční soustavy. Provozní měření proto musí být přesné a okamžité hodnoty veličin musí být k dispozici v reálném čase. Dalším měřením prováděným v distribuční soustavě je fakturační měření, které neslouží pro řízení a provozování distribuční soustavy. Fakturační měření nepředává informace o měřené veličině v reálném čase. Zaznamenanou hodnotu vypočítává z měřených hodnot v patnáctiminutových intervalech. Údaje z fakturačního měření slouží pro fakturaci odebrané elektrické energie.

Tato diplomová práce je zaměřena na způsob provedení fakturačního měření odebíraného nebo dodávaného výkonu z předávacího nebo odběrného místa připojeného na napěťové hladině vysokého napětí. V práci budou porovnány rozdílné měřicí systémy umístěné na primární nebo na sekundární straně silového transformátoru. Provozovatel distribuční soustavy umožňuje měřit tato odběrná a předávací místa za pomoci dvousystémového nebo třísystémového měřicího systému. Výběr měřicího systému je ponechán na zákazníkovi, respektive na zpracovateli projektové dokumentace k nově vznikajícímu odběrnému nebo předávacímu místu.

V připojovacích podmínkách provozovatele distribuční soustavy není bližší specifikace vlastností výše uvedených měřicích systémů. Ani zde není uvedeno srovnání, zda je v některých případech výhodnější použít určitý měřicí systém. Zároveň existují podněty od výrobců připojených k distribuční soustavě, které poukazují na možné nesrovnalosti v naměřených fakturačních údajích. Tyto skutečnosti byly podkladem pro zvolení tématu diplomové práce.

Pro vypracování praktické části práce byly osloveny tři skupiny odběratelů a výrobců připojených na napěťové hladině vysokého napětí. Každá skupina je připojena v jedné lokalitě a má společnou napájecí linku vysokého napětí. V rámci analýzy vlastností měřicích systémů jsou použita naměřená data z fakturačních měření a monitorovacích systémů výrobců.

2. Legislativní požadavky

Měření elektrických veličin v přenosové nebo distribuční soustavě ukládá provozovateli přenosové soustavy a provozovatelům distribučních soustav platná legislativa. Dle této legislativy jsou provozovatelé povinni měřit jak dodané, tak i odebrané množství činné a jalové energie. Měření je realizováno měřicím zařízením instalovaným na náklady provozovatele přenosové nebo distribuční soustavy.

Zákon 458/2000 Sb., Zákon o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon), stanovuje práva a povinnosti účastníkům trhu s elektřinou, mimo jiné zákazníkům, výrobcům a provozovatelům distribučních soustav. Energetický zákon dále definuje povinnost měřit dodané nebo odebrané množství činné nebo jalové elektrické energie. Hlavní povinností zákazníků je dle energetického zákona příprava předávacího nebo odběrného místa pro instalaci měřicího zařízení v souladu s uzavřenou smlouvou o připojení a s podmínkami, které jsou stanovené v Pravidlech provozování přenosové soustavy nebo Pravidlech provozování příslušné distribuční soustavy [2].

Zákon 505/1990 Sb., Zákon o metrologii, upravuje práva a povinnosti právnických a fyzických osob oprávněných k podnikatelské činnosti v oboru metrologie, a to v rozsahu potřebném k zajištění jednotnosti a správnosti měřidel a měření.

Hlavní vyhláškou, která se podrobněji zabývá měřením elektřiny je Vyhláška č. 359/2020 Sb. Vyhláška o měření elektřiny. V této vyhlášce jsou řešeny jednotlivé druhy měřicích systémů elektřiny, umístění a instalace zařízení, způsob vyhodnocování, stanovení náhrad za neoprávněně odebranou elektřinu, termíny a rozsah předávání údajů operátorovi trhu.

Dále je způsob a provedení měření elektřiny upraven v pravidlech provozování distribuční soustavy příslušného PDS.

2.1 Vymezení pojmů

Měřicí bod – je zpravidla fyzický bod sítě, ve kterém se snímá, měří a registruje elektřina. Podle vyskytujícího se směru toku energie se jedná o dodávající (napájecí) a / nebo odběrný bod. Vytváří-li se u složitějších případů měření součty nebo rozdíly z naměřených hodnot, ať už v registračních přístrojích nebo pomocí výpočetní techniky, jsou přiřazovány tzv. virtuální měřicí body [6].

Měřicí místo – je místem měření elektřiny v zařízeních elektrizační soustavy v předávacích a odběrných místech. Představuje v praxi soubor technických prostředků a měřicích přístrojů připojených k jednomu měřicímu bodu [6].

Měřicí systém – jsou veškerá zařízení pro měření, přenos a zpracování naměřených hodnot [2]. Měřicí systém sestává zejména z měřicích transformátorů, elektroměrů a registračních stanic, včetně příslušných spojovacích vedení, pomocných přístrojů a přístrojů určených pro komunikaci [6].

Odběrné místo – je místo, které je připojeno k přenosové nebo DS a kde je instalováno odběrné elektrické zařízení jednoho zákazníka včetně měřicích transformátorů, do něhož se uskutečňuje dodávka elektřiny [2].

Předávací místo – místo předání a převzetí elektřiny mezi provozovatelem přenosové nebo PDS a jiným účastníkem trhu s elektřinou, jehož zařízení je k této soustavě připojeno, s výjimkou odběrného místa [4].

2.2 Vymezení povinností PDS, výrobců a zákazníků

Za funkčnost a správnost měřicího systému, tj. souboru měřicích a technických prostředků jako celku, je zodpovědný příslušný PDS, což vyplývá z jeho povinnosti zajišťovat měření v DS [2]. Aby mohl PDS dostát této své povinnosti, jsou výrobci a zákazníci povinni rovněž dle ustanovení [2] upravit na svůj náklad předávací místo nebo odběrné místo pro instalaci měřicího systému. Konkrétně se jedná o následující možné úpravy:

Montáž, popř. výměnu měřicích transformátorů v odběrném místě s nepřímým měřením za schválené typy, s platným ověřením a technickými parametry stanovenými příslušným PDS (provedení, technické parametry měřicích jader, primární a sekundární jmenovité hodnoty měřených veličin, jmenovité zatížení, zapojení apod. jsou součástí vnitřních standardů příslušného PDS). Povinnost zajistit a nákladově uhradit výměnu měřicích transformátorů je zakotvena v [2]. Měřicí transformátory proudu a napětí jsou součástí odběrného místa. Kromě příslušné měřicí funkce v záležitosti fakturačního měření nesmí být měřicí jádro použito pro zajištění funkce ochran rozvodného zařízení apod. Měřicí transformátory kromě toho představují rozměrově i typově konstrukční prvek, závislý na celkovém provedení rozvodného zařízení nebo příslušného elektroměrového rozváděče.

Položení nepřerušovaných, samostatných spojovacích vedení mezi měřicími transformátory a elektroměry, zkušebními svorkovnicemi, resp. jisticími prvky (dimenzování spojovacího vedení u převodového měření dle vnitřních standardů příslušného PDS).

Zajištění příslušného rozhraní dle specifikace PDS pro využívání výstupů z elektroměru nebo integračního přístroje ke sledování a / nebo řízení odběru zákazníka nebo výrobce.

Zajištění spojovacího vedení mezi elektroměry a registračním přístrojem u případů složitějších měření typu A nebo B. Připojení zajištěného napájení atd.

Zajištění, popř. úpravu rozváděčů, měřicích skříní nebo elektroměrových desek pro montáž elektroměrů a dalších přístrojů podle technické specifikace PDS. (Provedení a umístění rozváděčů v souladu s vnitřními standardy PDS), včetně zakrytí neměřených částí a jejich zajištění proti neoprávněné manipulaci (přízpůsobení na použití závěsné plomby).

Výměnu a montáž předřazeného jisticího prvku za odpovídající typ a velikost.

Při podstatném a dlouhodobém zvýšení nebo snížení zatížení měničů, tj. primární jmenovité hodnoty měřené veličiny, může PDS nařídít výměnu měřicích transformátorů [6].

2.3 Zvláštní požadavky na fakturační měření

Výjimečné postavení z přístrojů měřicího systému zaujímá elektroměr a měřicí transformátory proudu a napětí. Jedná se o tzv. pracovní měřidla stanovená (zkráceně jen “stanovená měřidla”) a vztahuje se na ně [5] a dále zejména [7] a [3]. V praxi to znamená, že jako elektroměr a měřicí transformátor musí být ve fakturačním měření použit takový přístroj, který má přidělenou značku schváleného typu, je ověřen a opatřen platnou úřední značkou.

Elektroměry mohou být použity v souladu s technickými požadavky nově uváděných měřidel do oběhu dle [3] a musí být opatřeny zajišťovací značkou výrobce proti neoprávněné manipulaci a doplňkovým metrologickým značením.

Pokud je elektroměr vybaven přídatnými funkcemi, jako je např. měření a záznam parametrů kvality elektřiny nebo dálkový přenos naměřených dat, musí být jeho základní měřicí funkce dostatečně zabezpečeny před neoprávněným přístupem.

Výrobci a zákazníci jsou povinni podle [2] neprodleně hlásit závady na měřicích systémech, včetně porušení zajištění proti neoprávněné manipulaci, které zjistí. Tato povinnost vyplývá z toho, že měřicí zařízení se nachází zpravidla v odběrném zařízení zákazníka nebo ve výrobním zařízení výrobce a nemůže být z objektivních důvodů pod častější pravidelnou a přímou kontrolou PDS [6].

2.4 Rozdělení měření

Rozdělení měření je dáno vyhláškou č. 359/2020 Sb. Vyhláška o měření elektřiny. Vyhláška podrobněji popisuje mimo jiné druhy měřicích systémů, umístění měřicích systémů a způsoby a podmínky instalace měřicích systémů.

2.4.1 Rozdělení dle způsobu měření

Přímé měření je takové měření, kdy elektroměrem prochází veškerá měřená elektřina a nejsou použity měřicí transformátory. Takové měření je používáno na napěťové hladině NN, pokud hodnota hlavního jističe před elektroměrem dosahuje velikosti do 3x80 A včetně.

Nepřímé měření je takové měření, kdy je elektroměr použit v zapojení s měřicími transformátory proudu, kterými prochází veškerá měřená elektřina, a případně i s měřicími transformátory napětí. Podle strany silového transformátoru, na kterou jsou měřicí transformátory připojeny, je měření rozděleno na:

- primární (na straně vyššího napětí) nebo
- sekundární (na straně nižšího napětí) měření.

Tento způsob měření je využíván na napěťové hladině NN s hodnotou hlavního jističe před elektroměrem vyšší než 3x80 A a na napěťových hladinách vysokého nebo velmi vysokého napětí.

2.4.2 Rozdělení dle typu měření

Vyhláška [1] dále definuje typy měření odběrných míst. Typ měření má vliv na četnost předávaných dat. Pokud jsou data předávána v denním nebo měsíčním intervalu, hovoříme o průběhovém měření. Pokud jsou data předávána v méně četném intervalu, tak hovoříme

o tzv. neprůběhovém měření. V rámci odběrných a předávacích míst na napěťových hladinách VN, VVN se využívá průběhové měření typu A a B.

2.4.2.1 Měření typu A

Jedná se o průběhové měření s dálkovým denním přenosem údajů, průběžný záznam střední hodnoty činného a jalového výkonu za měřicí interval provádí přímo měřicí systém.

Měřením typu A musí být měřena elektřina:

- mezi přenosovou soustavou a zahraničními soustavami,
- mezi přenosovou soustavou a DS,
- odebíraná z přenosové soustavy nebo z DS na napěťové hladině vyšší než 52 kV
- mezi DS na napěťové hladině vyšší než 1 kV,
- u výroby elektřiny přímo připojené k přenosové soustavě nebo k DS na napěťové hladině vyšší než 1 kV a
- odebíraná z DS na napěťové hladině od 1 kV do 52 kV a s rezervovaným příkonem nad 250 kW.

U měření typu A je základním měřicím intervalem 1 čtvrt hodina, vyhodnocovacím intervalem je 1 hodina, základní interval pro zpracování a přenos naměřených údajů je kalendářní den.

2.4.2.2 Měření typu B

Jedná se o průběhové měření s dálkovým, jiným než denním přenosem údajů, průběžný záznam střední hodnoty činného a jalového výkonu za měřicí interval provádí přímo měřicí systém.

Alespoň měřením typu B musí být měřena elektřina:

- mezi DS na napěťové hladině do 1 kV s nepřímým měřením,
- u výroby elektřiny přímo připojené k DS na napěťové hladině do 1 kV a instalovaným výkonem nad 10 kW,
- odebíraná z DS na napěťové hladině od 1 kV do 52 kV a s rezervovaným příkonem do 250 kW,
- dodávaná do nebo odebíraná z DS na napěťové hladině do 1 kV s nepřímým měřením,
- u odběrného místa s odběrem elektřiny z DS na napěťové hladině do 1 kV, prostřednictvím kterého je připojena výrobní elektřina s instalovaným výkonem nad 10 kW, a
- u výroby elektřiny nebo u každého výrobního zdroje připojeného k přenosové soustavě nebo k DS prostřednictvím jiné výroby elektřiny.

U měření typu B je základním měřicím intervalem 1 čtvrt hodina, vyhodnocovacím intervalem je 1 hodina, základní interval pro zpracování a přenos naměřených údajů je 1 měsíc.

Měření typu B může být nahrazeno měřením typu A.

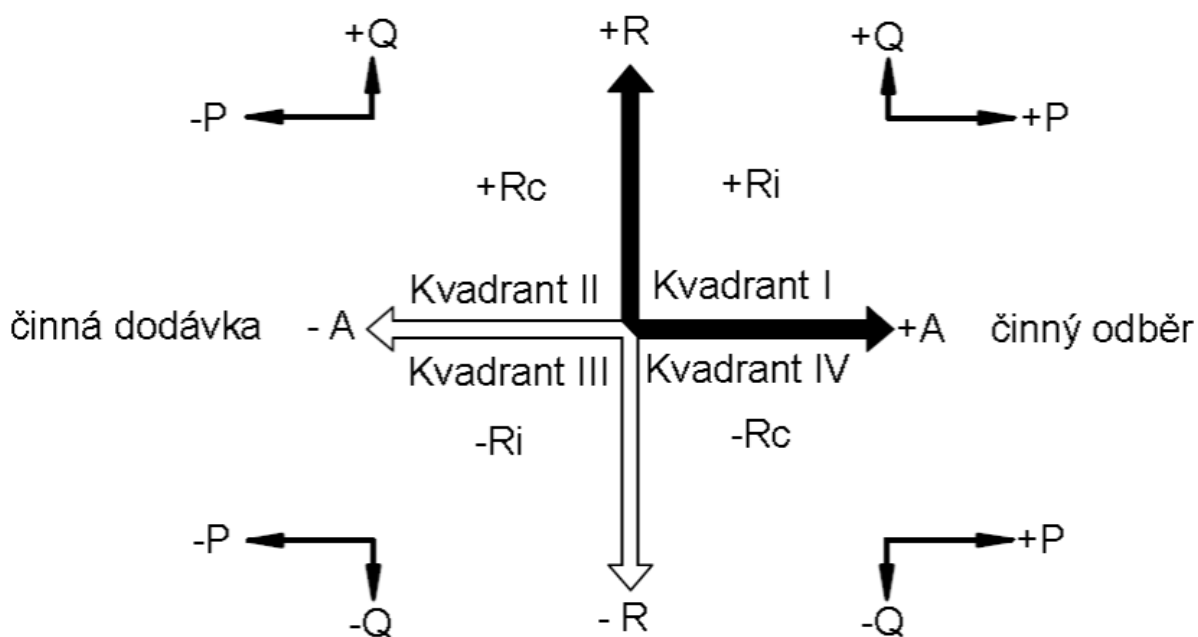
2.5 Fakturační měření elektřiny

Úkolem fakturačního měření je korektním způsobem získávat data o odebírané a dodávané elektřině a takto pořízená data dále poskytovat oprávněným účastníkům trhu, a to nediskriminačně a s náležitou důvěrností. Hlavní úlohou fakturačního měření zůstává i nadále fakt, že naměřená data tvoří obvyklý výstup pro většinu používaných způsobů účtování na trhu s elektřinou [6].

Naměřené údaje o odebrané a dodané energii PDS poskytují oprávněným účastníkům trhu prostřednictvím operátora trhu. U typu měření A a B předávají PDS údaje z měření elektřiny v kWh, kW, kVArh, kVAr, popř. v MWh, MW, MVarh, MVar. Předávané hodnoty činného výkonu, jalového induktivního výkonu a jalového kapacitního výkonu, jsou sumou za měřicí interval dle typu měření. [1]

Směr toku elektřiny z DS do odběrného nebo předávacího místa je považován za kladný. Směr toku elektřiny z odběrného nebo předávacího místa do DS je považován za záporný.

Jalová energie je označena jako kladná, když pro fázový úhel mezi proudem a napětím platí $0^\circ < j < 180^\circ$. Jalová energie je označena jako záporná, když pro fázový úhel mezi proudem a napětím platí $180^\circ < j < 360^\circ$.



Legenda:

+Ri	[kVAr]	Odběr jalové induktivní energie při odběru činné energie	kvadrant I
+Rc	[kVAr]	Odběr jalové kapacitní energie při dodávce činné energie	kvadrant II
-Ri	[kVAr]	Dodávka jalové induktivní energie při dodávce činné energie	kvadrant III
-Rc	[kVAr]	Dodávka jalové kapacitní energie při odběru činné energie	kvadrant IV

Obr. 1 Znázornění přiřazení toku energie do příslušných kvadrantů

Datum	+A	+Rc	+Ri	-A	-Rc	-Ri
	kW	kVar	kVar	kW	kVar	kVar
1.1.18 8:15	6	0	0	0	22	0
1.1.18 8:30	7	0	1	0	29	0
1.1.18 8:45	7	0	2	0	26	0
1.1.18 9:00	0	0	0	10	7	181
1.1.18 9:15	0	0	0	25	0	188
1.1.18 9:30	0	0	0	33	0	182
1.1.18 9:45	0	0	0	39	0	181

Obr. 2 Příklad naměřených hodnot získaných z fakturačního elektroměru

3. Měření výkonu elektrického proudu

3.1 Měřicí a vyhodnocovací interval

Pro všechna měřicí místa elektrizační soustavy je v záležitosti fakturačního měření jednotně zaveden od 1. listopadu 2001 platný čas. Základním měřicím intervalem (měřicí periodou) je u průběhového měření jedna čtvrt hodina. Používá se pro zjišťování hodnoty energie nebo střední hodnoty výkonu, např. při zjišťování průběhu zatížení. Základní vyhodnocovací interval pro průběhové měření je jedna hodina. Podrobnější údaje jsou stanoveny ve vyhlášce [1] včetně údajů o synchronizaci.

3.2 Definice měřených veličin

Okamžitá hodnota výkonu elektrického proudu je definována součinem okamžitých hodnot napětí a proudu

$$p(t) = u(t) \cdot i(t) \quad (3.1)$$

V obvodech stejnosměrného proudu, kde proud i napětí jsou konstantní, pak platí

$$P = U \cdot I \quad (3.2)$$

V obvodech střídavého proudu definujeme střední hodnotu výkonu za periodu, tzv. činný výkon, vztahem

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) \cdot i(t) dt \quad (3.3)$$

Činný výkon spotřebovaný v zátěži je považován za kladný (označení +P nebo +A). Činný výkon dodávaný zdrojem je považován za záporný (označení -P nebo -A).

3.2.1 Harmonické průběhy

V případě harmonických průběhů napětí i proudu s efektivními hodnotami U a I a fázovým rozdílem φ pak platí

$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{T} \int_0^T u(t) \cdot i(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T U \cdot \sqrt{2} \cdot \sin \omega \cdot t \cdot I \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) dt = \\ &= \frac{2}{T} \cdot U \cdot I \left[\frac{1}{2} \int_0^T \cos \varphi dt - \frac{1}{2} \int_0^T (2\omega \cdot t) dt \right] = U \cdot I \cdot \cos \varphi \end{aligned} \quad (3.4)$$

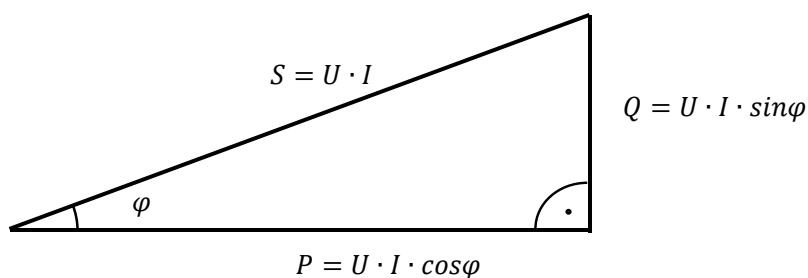
Pro harmonické průběhy dále definujeme jalový výkon Q

$$Q = U \cdot I \cdot \sin\varphi \quad (3.5)$$

a zdánlivý výkon S

$$S = U \cdot I = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (3.6)$$

Vztahy pro výpočet činného, jalového a zdánlivého výkonu lze znázornit jako pravoúhlý trojúhelník, jehož přepona $U \cdot I$ a odvěsna $U \cdot I \cdot \cos\varphi$, vzájemně svírají úhel φ . Úhel φ představuje úhel fázového posunu mezi napětím a proudem.



Obr. 3 Výkonový trojúhelník

3.2.2 Neharmonické průběhy

Činný výkon je součtem součinů jednotlivých harmonických složek

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) \cdot i(t) dt = U_0 \cdot I_0 + \sum_{n=1}^{\infty} U_n \cdot I_n \cdot \cos\varphi_n \quad (3.7)$$

,kde U_n a I_n jsou efektivní hodnoty jednotlivých harmonických složek a φ_n jejich fázové rozdíly.

Obvykle je jalový výkon v tomto případě definován jako

$$Q = \sum_{n=1}^{\infty} U_n \cdot I_n \cdot \sin\varphi_n \quad (3.8)$$

Zdánlivý výkon je definován jako

$$S = U \cdot I = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2} \quad (3.9)$$

kde D je tzv. deformační výkon.

3.3 Měření spotřeby elektrické energie

Průběhové měření je takové měření, při kterém je kontinuálně zaznamenávána střední hodnota výkonu za měřicí interval. Je to množství naměřené elektřiny vztahené na měřicí periodu. Práce vykonaná elektrickým proudem odpovídající spotřebě elektrické energie za dobu t_m je definována vztahem

$$\Delta W = \int_{t_1}^{t_2} p(t)dt = \int_{t_1}^{t_2} u(t) \cdot i(t)dt = \int_{t_1}^{t_2} P(t)dt \quad (3.10)$$

kde $p(t)$ je okamžitý výkon a $P(t)$ činný výkon za jednu periodu. Elektroměry jsou ve skutečnosti integrační wattmetry, které měří signál za dobu $t_m = t_2 - t_1$. Zapojení elektroměrů v měřicím systému je shodné jako zapojení wattmetrů při měření výkonu.

3.4 Měření výkonu střídavého proudu v třífázových soustavách

Vhodný výběr metody pro měření třífázového výkonu soustavy závisí na typu zátěže, zda je zátěž souměrná nebo nesouměrná a je-li třífázová soustava v provedení čtyřvodičové nebo třívodičové.

Souměrná zátěž – fázory proudů tekoucích jednotlivými fázemi jsou stejně velké a mají stejný fázový rozdíl proti příslušným fázovým napětím.

Nesouměrná zátěž – fázory proudů tekoucích jednotlivými fázemi nejsou stejně velké nebo nemají stejný fázový rozdíl proti příslušným fázovým napětím.

Třívodičová síť – nemá střední vodič, lze měřit pouze sdružená napětí

Čtyřvodičová síť – má střední vodič, lze měřit napětí sdružená, tj. mezi fázemi, i fázová napětí, tj. mezi fází a středním vodičem.

Měření výkonu v třífázových soustavách je možné realizovat za užití wattmetrů, jejichž počet lze určit pomocí Blondelova teoremu. Blondelův teorém stanovuje, že pro správné měření celkového činného výkonu zátěže v n -vodičové soustavě, je zapotřebí minimálně $n-1$ wattmetrů. Ve čtyřvodičové síti je pro měření činného výkonu potřeba užít 3 wattmetrů, tedy třísystémové měření. Měření je správné při obecné zátěži i obecné soustavě napětí a je zatíženo pouze odchylkou způsobenou spotřebou měřicích ústrojí wattmetrů a spotřebou kontrolních měřicích přístrojů.

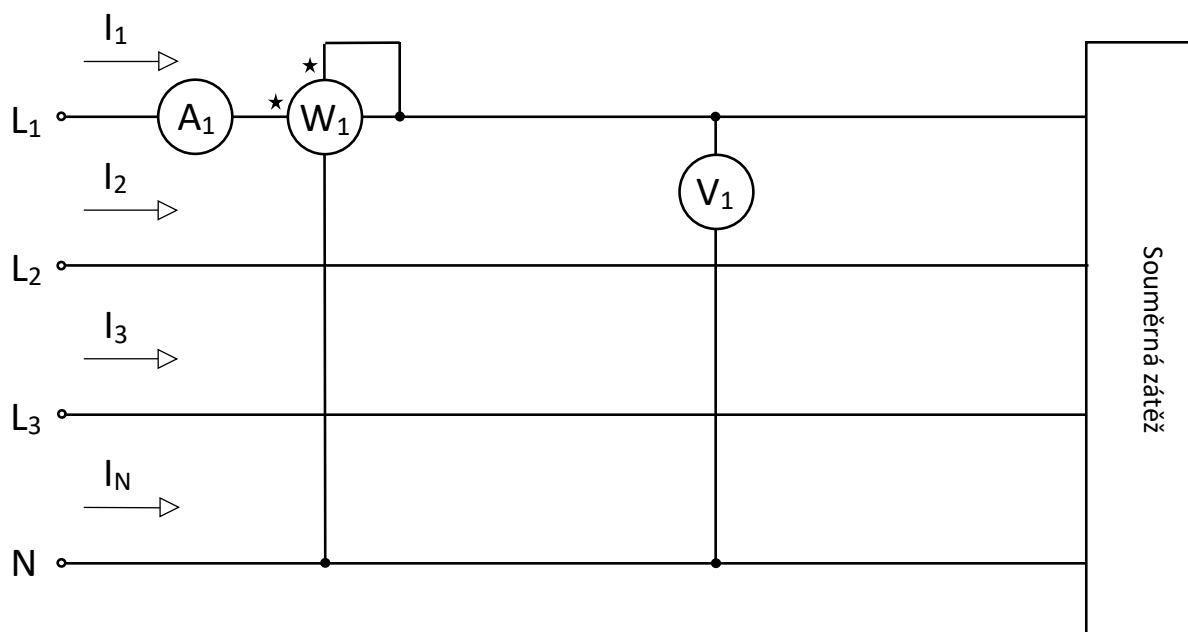
Ze vztahů pro výkony v jednofázové síti lze dovodit vztahy pro výkony v síti třífázové, celkový výkon je dán vždy součtem výkonů v jednotlivých fázích

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\varphi_1 + U_2 \cdot I_2 \cdot \cos\varphi_2 + U_3 \cdot I_3 \cdot \cos\varphi_3 \quad (3.11)$$

$$S = S_1 + S_2 + S_3 = U_1 \cdot I_1 + U_2 \cdot I_2 + U_3 \cdot I_3 \quad (3.12)$$

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = U_1 \cdot I_1 \cdot \sin\varphi_1 + U_2 \cdot I_2 \cdot \sin\varphi_2 + U_3 \cdot I_3 \cdot \sin\varphi_3 \quad (3.13)$$

3.4.1 Měření činného výkonu v symetrické čtyřvodičové soustavě se souměrnou zátěží



Obr. 4 Měření činného výkonu souměrné zátěže ve čtyřvodičové souměrné soustavě

V souměrné soustavě napětí se souměrnou zátěží je činný výkon ve všech třech fázích stejný. Z tohoto důvodu můžeme měřit výkon jen v jedné fázi a celkový činný výkon určit jako jeho násobek.

$$P_1 = P_2 = P_3 \quad (3.14)$$

$$U_1 = U_2 = U_3 \quad (3.15)$$

$$I_1 = I_2 = I_3 \quad (3.16)$$

$$\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3 \quad (3.17)$$

$$P = 3 \cdot P_1 \quad (3.18)$$

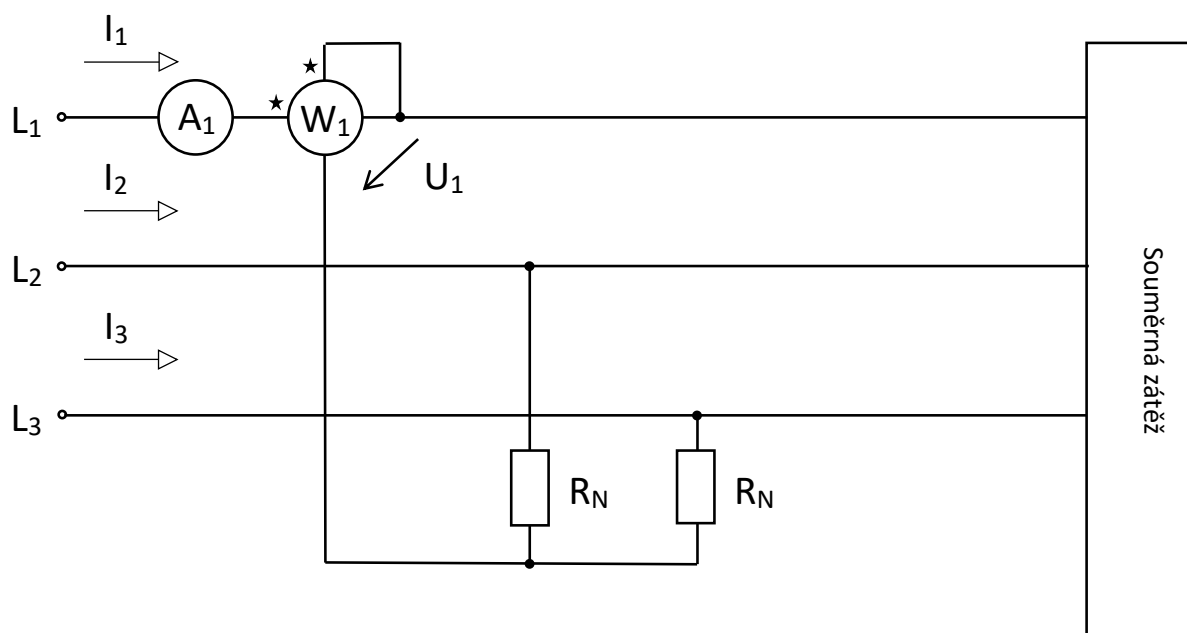
$$S = 3 \cdot U_f \cdot I \quad (3.19)$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (3.20)$$

$$\cos\varphi = \frac{P_1}{S_1} = \frac{P}{S} \quad (3.21)$$

Zvolené zapojení je pro malé výkony. Voltmetr a napěťová cívka wattmetru jsou připojeny na fázové napětí [9].

3.4.2 Měření činného výkonu v symetrické třívodičové soustavě se souměrnou zátěží



Obr. 5 Měření činného výkonu souměrné zátěže ve třívodičové symetrické soustavě

V soustavě bez nulového vodiče je pomocí rezistorů vytvořen nulový bod. Odpor rezistorů R_N je roven odporu napěťové cívky wattmetru, $R_N = R_{WU}$ [9].

$$P_1 = P_2 = P_3 \quad (3.22)$$

$$U_1 = U_2 = U_3 \quad (3.23)$$

$$I_1 = I_2 = I_3 \quad (3.24)$$

$$\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3 \quad (3.25)$$

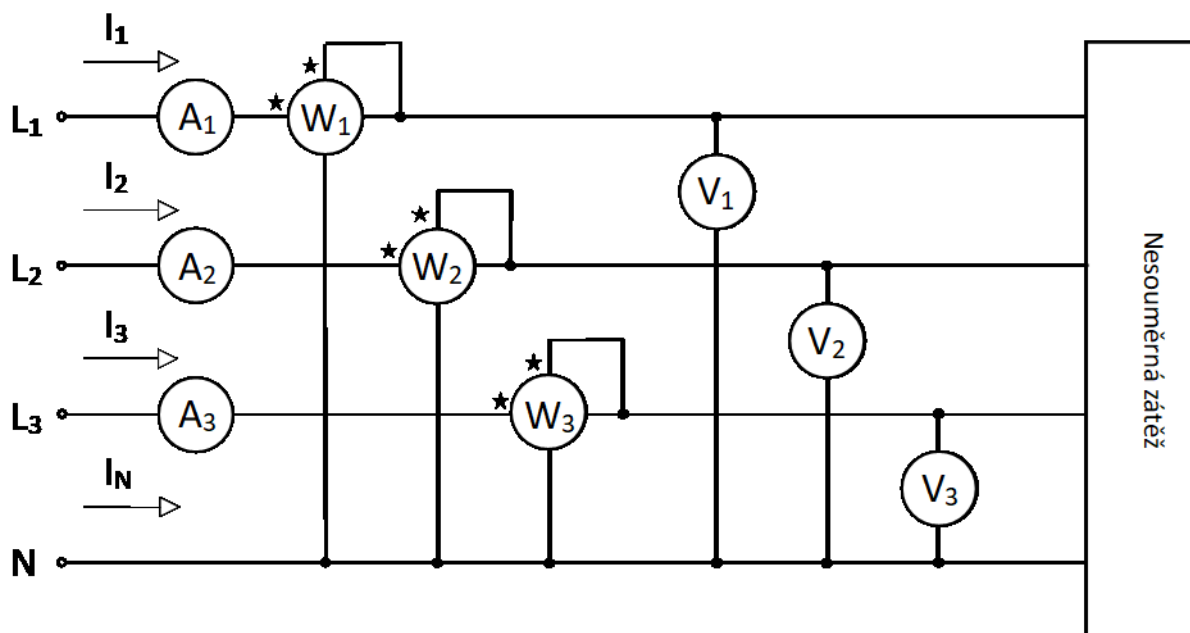
$$P = 3 \cdot P_1 \quad (3.26)$$

$$S = 3 \cdot U_f \cdot I \quad (3.27)$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (3.28)$$

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{S_1} = \frac{P}{S} \quad (3.29)$$

3.4.3 Měření činného výkonu ve čtyřvodičové souměrné soustavě s nesouměrnou zátěží



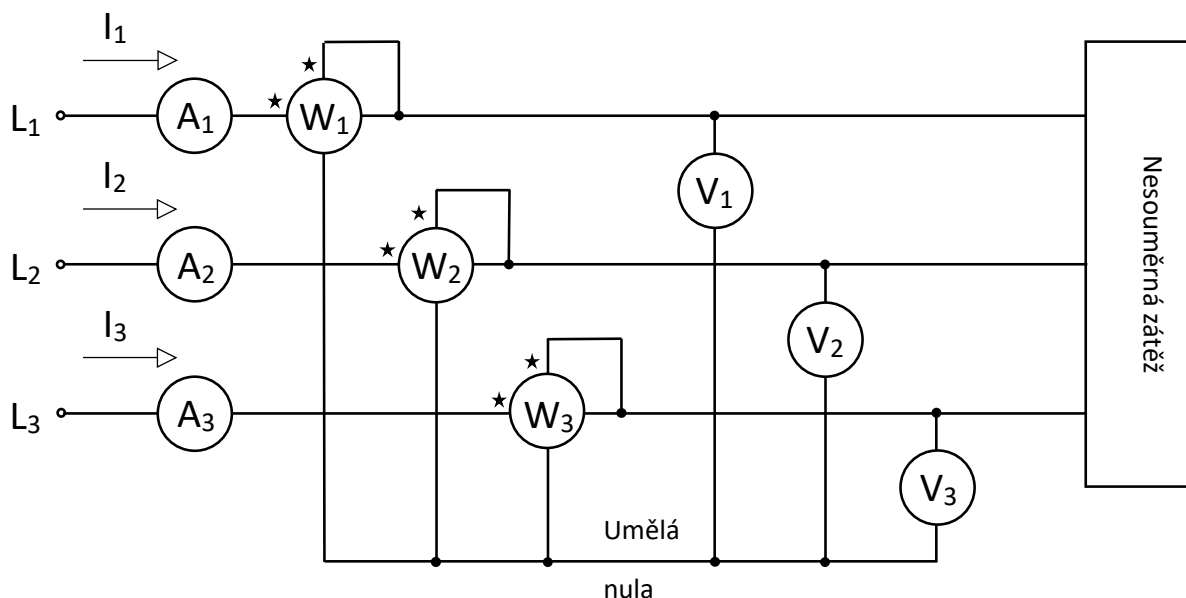
Obr. 6 Měření činného výkonu nesouměrné zátěže ve čtyřvodičové souměrné soustavě

Ve čtyřvodičové soustavě je dle Blondelova teorému dostačující užití 3 wattmetrů. Pro celkový činný výkon zátěže platí

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = N_1 + N_2 + N_3 \quad (3.30)$$

kde jsou N_1, N_2, N_3 údaje wattmetrů [9] (W)

3.4.4 Měření činného výkonu v třívodičové souměrné soustavě s nesouměrnou zátěží



Obr. 7 Měření činného výkonu nesouměrné zátěže ve třívodičové souměrné soustavě

Zapojení je využíváno v případech, kdy zátěž nemá vyvedenou nulu a zároveň pracovní nula zdroje není využita. Uzel, který je vytvořen spojením výstupních svorek wattmetrů a kontrolních voltmetrů, představuje umělou nulu. Umělá nula se vytváří tehdy, je-li nutné pomocí přístrojů s rozsahem fázového napětí měřit v třívodičové síti. Uzel odporové hvězdy má potenciál středního vodiče [9].

Za předpokladu, že odpory napěťových cívek všech wattmetrů a voltmetrů jsou stejné, můžeme určit správný činný výkon podle vztahu.

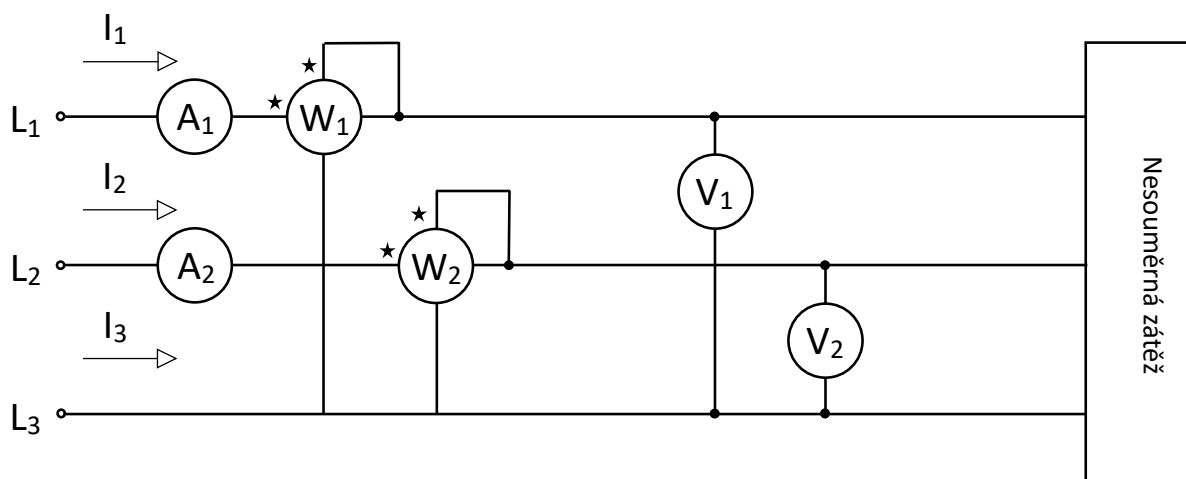
$$P = P_1 + P_2 + P_3 \quad (3.31)$$

$$S = U_f \cdot (I_1 + I_2 + I_3) \quad (3.32)$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (3.33)$$

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} \quad (3.34)$$

3.4.5 Měření činného výkonu v souměrné třívodičové soustavě v Aronově zapojení



Obr. 8 Měření činného výkonu nesouměrné zátěže v třívodičové soustavě v Aronově zapojení

V třífázové třívodičové síti se k měření celkového výkonu většinou využívá Aronovo zapojení.

Napěťové obvody wattmetrů jsou připojeny na sdružená napětí [9].

$$u_{13} = u_1 - u_3 \quad (3.35)$$

$$u_{23} = u_2 - u_3 \quad (3.36)$$

Výkony indikované wattmetry

$$N_1 = \frac{1}{T} \int_0^T (u_1 - u_3) i_1 dt \quad (3.37)$$

$$N_2 = \frac{1}{T} \int_0^T (u_2 - u_3) i_2 dt \quad (3.38)$$

Celkový činný výkon zátěže je dán střední hodnotou celkového okamžitého výkonu

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T (p_1 + p_2 + p_3) dt = \frac{1}{T} \int_0^T (u_1 \cdot i_1 + u_2 \cdot i_2 + u_3 \cdot i_3) dt \quad (3.39)$$

Podle 1. Kirchhoffova zákona platí pro třívodičovou síť

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0 \Rightarrow i_3 = -i_1 - i_2 \quad (3.40)$$

Dosadíme-li do vztahu (3.39) a použitím (3.31)(3.32) dostaneme

$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{T} \int_0^T (u_1 \cdot i_1 + u_2 \cdot i_2 + u_3 \cdot (-i_1 - i_2)) dt = \\ &= \frac{1}{T} \int_0^T ((u_1 - u_3) \cdot i_1 + (u_2 - u_3) \cdot i_2) dt = N_1 + N_2 \end{aligned} \quad (3.41)$$

3.5 Realizace měření v odběrných místech

Měřicí systém u odběrných a předávacích míst na napětové hladině VN se skládá z elektroměru, MTP a v případě měření umístěného na primární straně silového transformátoru obsahuje také MTN. Nedílnou součástí takových měřicích systémů je i zkušební svorkovnice, propojovací vedení a jištění.

Funkcí MT je převádět primární veličiny (proud a napětí) na sekundární veličiny. Poměr mezi primárními veličinami a sekundárními veličinami vyjadřuje převod měřicího transformátoru (převodový poměr p).

$$p = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{n_1}{n_2} \quad (3.42)$$

Elektroměr musí mít nastaven násobitele naměřené hodnoty, který odpovídá převodovému poměru p .

3.5.1 Přístroje měřící spotřebu elektrické energie

Přístroje pro měření spotřeby elektrické energie měří časový integrál výkonu. V DS se pro měření spotřeby elektrické energie v minulosti nejčastěji užívaly indukční elektroměry.



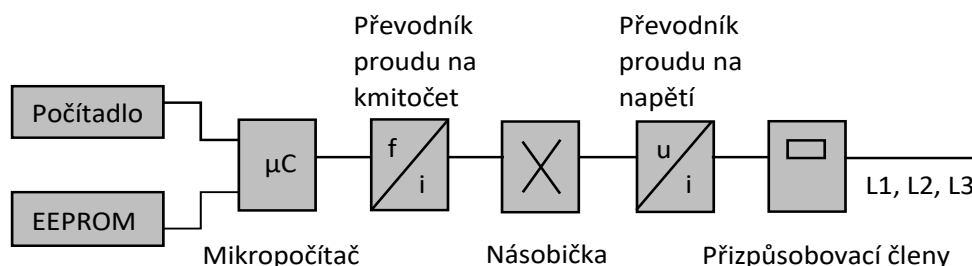
Obr. 9 Příklady indukčních elektroměrů

Mechanické indukční elektroměry byly koncem 20. století nahrazovány elektronickými přístroji [8]. Nemají žádné pohyblivé části, oproti mechanickým indukčním elektroměrům, proto se nazývají statické. Tyto elektroměry mají díky rozvoji elektroniky velké funkční možnosti, například:

- měření maximální spotřeby
- více sazbové měření
- měření více veličin
- větší přesnost měření
- dálkový odečet
- LCD displej
- ukládání časového odběrného diagramu do paměti
- komunikaci s počítačem, datovou komunikaci



Obr. 10 Elektronický elektroměr



Obr. 11 Blokové schéma elektronického elektroměru

Statické elektroměry se skládají z následujících součástí:

Prizpůsobovací členy – pro vytvoření činných a jalových složek napětí. Síťové napětí a odebírané proudy jsou transformovány na hodnoty vhodné k elektronickému zpracování

Převodník proudu na napětí – převodník vytváří napěťový signál přímo úměrný proudu

Násobička – zesilovač, vytvářející proudový signál úměrný činnému výkonu (tj. součinu napěťových signálů reprezentujících napětí a celkový proudový odběr).

Převodník proudu na kmitočty – generuje impulzní signály s kmitočty úměrnými odebíranému činnému a jalovému výkonu. Údaj počítadla odebrané elektrické energie je úměrný počtu impulzů v souladu s konstantou elektroměru, např. 500 imp./kWh

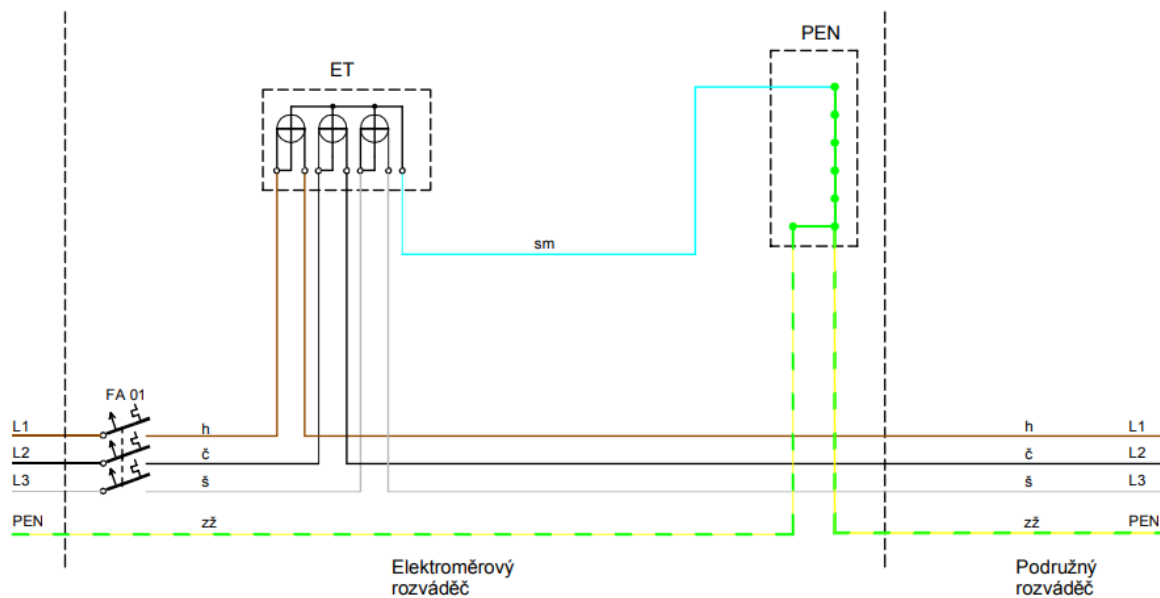
Mikropočítač – provádí výpočty spotřeby a řídí přepínání režimů elektroměru

Počítadlo – je zobrazovací rozhraní, například LCD displej, které zobrazuje naměřené hodnoty a informační údaje

EEPROM – paměť uchovávající naměřená data za stanovené období, která mohou být předána po vedení, např. do počítače dodavatele elektrické energie

3.5.2 Přímé měření

Odběrná a předávací místa připojená k DS na napěťové hladině NN s hodnotou hlavního jističe do 3x80 A včetně, jsou osazena a měřena přímým měřením. Nejsou zde použité převodové transformátory, veškerá měřená elektřina prochází elektroměrem.



Legenda:

ET - elektroměr třífázový
FA01 - jistič před elektroměrem
PEN - svorkovnice PEN

Barevné značení vodičů: h-hnědý, č-černý, š-šedý, zž-zelený/žlutý, sm-světle modrý

Obr. 12 Zapojení přímého měření

3.5.2.1 Výhody

- Jednoduchá montáž
 - Zapojení bez zkušební svorkovnice, bez MTP
- Finanční úspora
 - absence MTP, MTN
 - levný elektroměr

3.5.2.2 Nevýhody

- Měření malých výkonů (proudů do 80A) na napěťové hladině NN



Obr. 13 Přímé měření

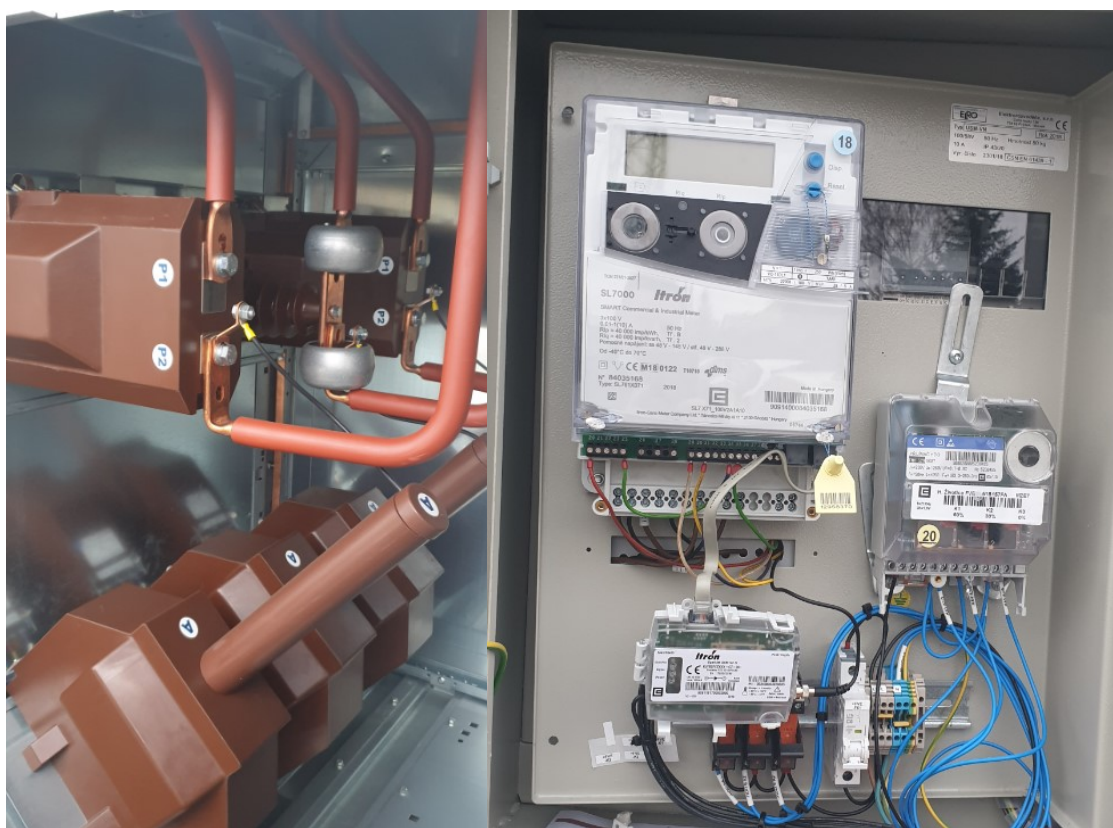
3.5.3 Nepřímé měření

Odběrná a předávací místa připojená k DS na napěťové hladině NN s hodnotou hlavního jističe nad 3x80 A nebo odběrná a předávací místa připojena k DS na napěťových hladinách VN a VVN jsou měřena nepřímým měřením. Veškerá měřená elektřina prochází MT. Podle užití typů MT je nepřímé měření rozděleno:

- a. polopřímé měření – měřicí systém obsahuje MTP, měřená elektřina prochází pouze MTP
- b. převodové měření – měřicí systém obsahuje MTP i MTN, měřená elektřina prochází MTP i MTN.

Z výstupních svorek MT je vyveden signál do elektroměru. Signál je násobně menší dle převodového poměru měřicího transformátoru. Transformace měřených veličin umožňuje snížit nároky na dimenzování elektroměru. Zároveň se snižují náklady na výrobu elektroměrů, zmenšují se rozměry elektroměrů a je umožněna jejich širší unifikace.

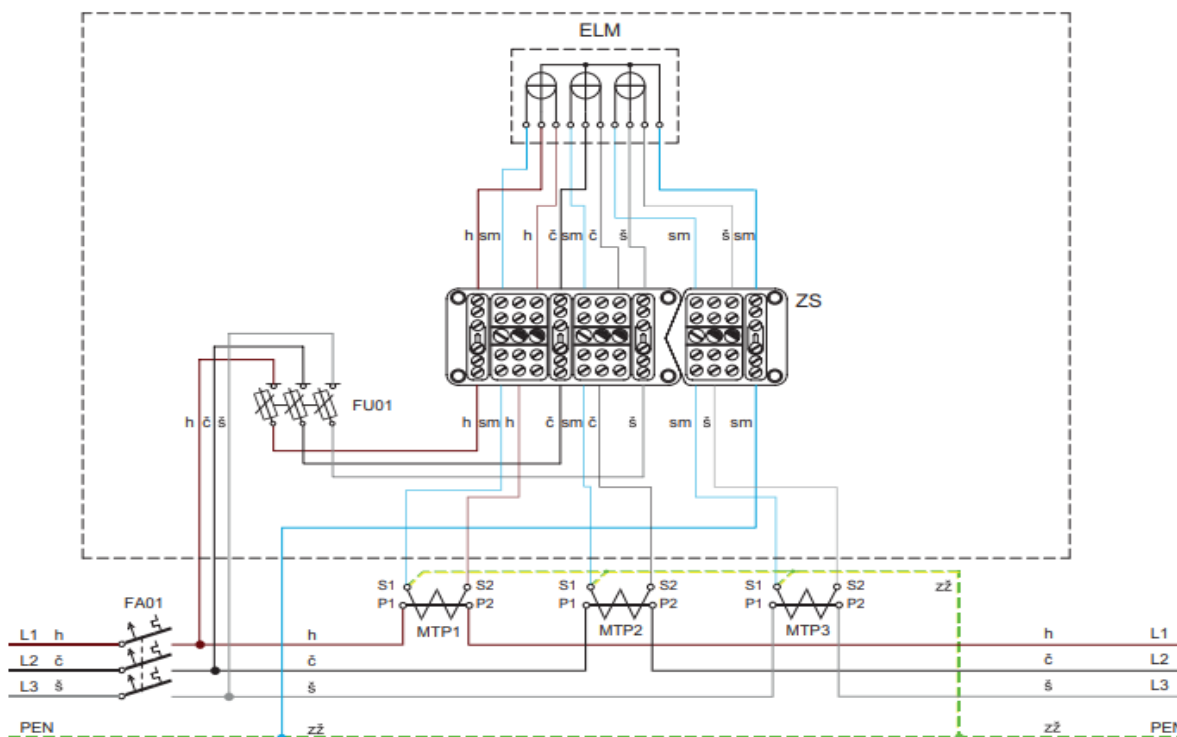
U odběrných a předávacích míst na napěťové hladině VN a NN nad 3x80 A se měření provádí vždy s použitím MTP. Při primárním měření (tj. měření na straně vyššího napětí silového transformátoru) také s použitím MTN. Podle zákona o metrologii č. 505/1990 Sb., jsou elektroměry a MT stanovená měřidla, která musí být schváleného typu a úředně ověřena. To znamená, že MT a elektroměry jsou opatřeny úřední značkou a letopočtem (minimálně posledním dvojčíslem letopočtu) posledního ověření.



Obr. 14 Ukázka zapojení nepřímého měření

3.5.4 Sekundární měření

Sekundární měření je dle připojovacích podmínek ČEZ Distribuce, a. s. požadováno v případě připojení jednoho transformátoru do maximálního příkonu 1000 kVA včetně, když nelze použít primární měření. MTP se osadí ve všech třech fázích vždy za hlavním jističem ve vstupním poli hlavního rozváděče NN.



Legenda:

ELM	elektroměr
MTP1, 2, 3	měřicí transformátory proudu
FA01	jistič před elektroměrem
FU01	pojistkový odpínač (plombovatelný v zapnutém stavu) s pojistkou 2A/gG
ZS	zkušební svorkovnice
Barevné značení vodičů: h – hnědý, č – černý, š – šedý, sm – světle modrý, zž – zelenožlutý	

Obr. 15 Zapojení sekundárního nepřímého měření

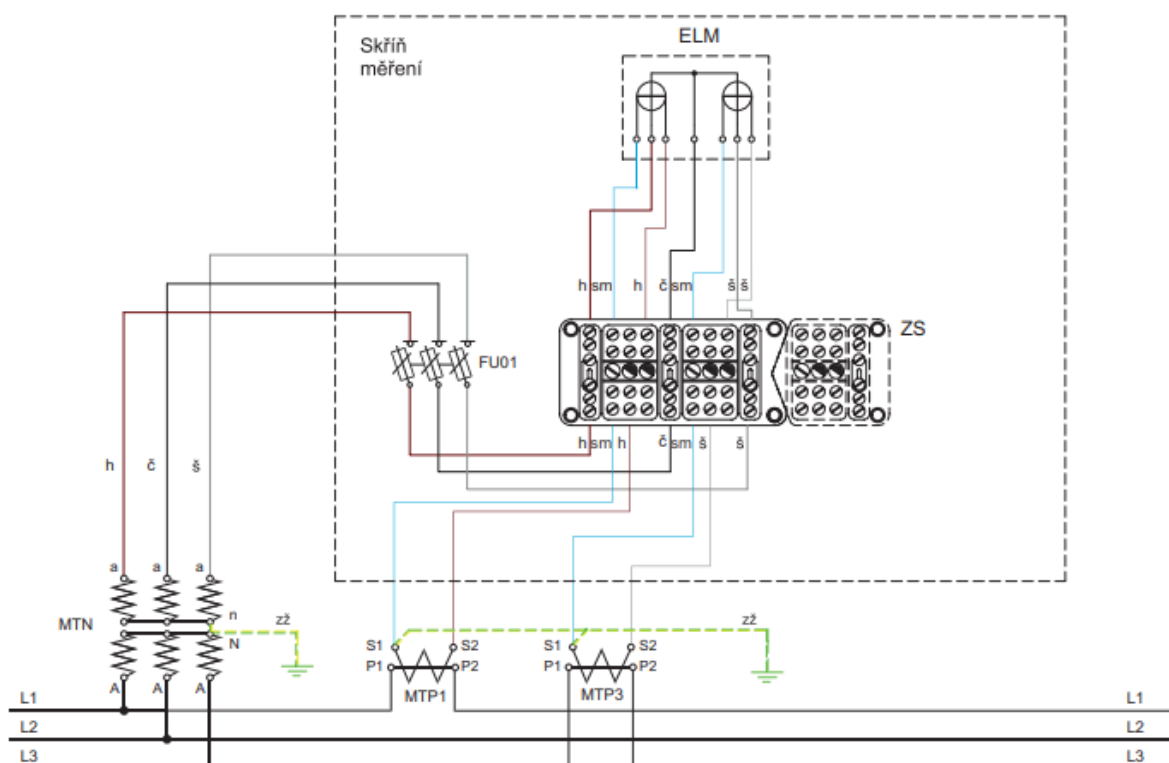
3.5.4.1 Výhody

- Finanční úspora
 - absence MTN
- Měření větších výkonů (proudů do 1500 A) na napěťové hladině NN

3.5.4.2 Nevýhody

- Nelze použít u odběrů s více silovými transformátory
- Složitější montáž
 - Užití MTP, zkušební svorkovnice
 - Riziko záměny proudových a napěťových okruhů jednotlivých fází

3.5.5 Primární dvousystémové měření v třívodičové síti



Legenda:

ELM	elektroměr
MTP1, 3	měřicí transformátory proudu
MTN	měřicí transformátory napětí
FU01	pojistkový odpínač (plombovatelný v zapnutém stavu) s pojistkou 2A/gG
ZS	zkušební svorkovnice
Barevné značení vodičů: h – hnědý, č – černý, š – šedý, sm – světle modrý, zž – zelenožlutý	

Obr. 16 Primární dvousystémové měření v třívodičové síti

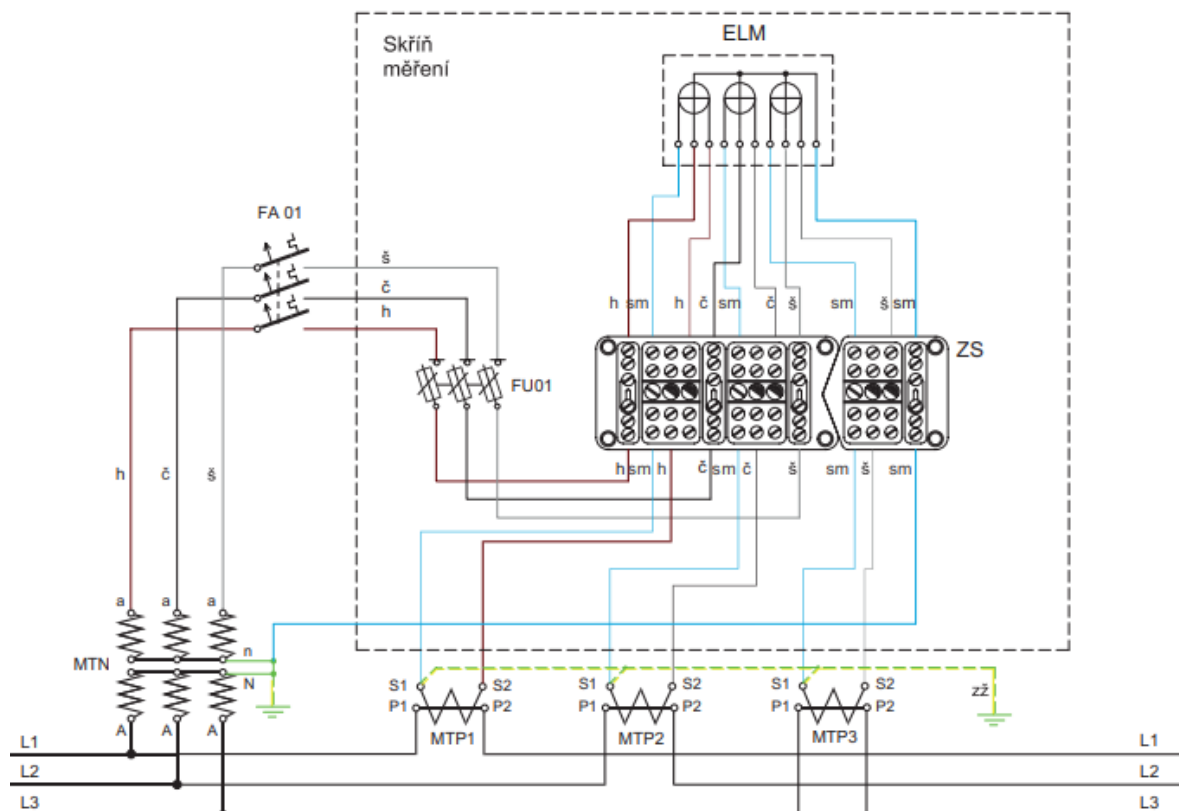
3.5.5.1 Výhody

- Finanční úspora
 - Užití pouze 2 MTP
- Měření větších výkonů na napěťové hladině VN
- Lze použít v odběrných a předávacích místech s větším počtem instalovaných silových transformátorů

3.5.5.2 Nevýhody

- Složitá montáž
 - Užití MTP, MTN, zkušební svorkovnice
 - Riziko záměny proudových a napěťových okruhů jednotlivých fází
- Elektroměr neměří proudy ve všech fázích

3.5.6 Primární třísystemové měření v třívodičové síti



Legenda:

ELM	elektroměr
MTP1, 2, 3	měřicí transformátory proudu
MTN	měřicí transformátory napětí
FU01	pojistkový odpínač (plombovatelný v zapnutém stavu) s pojistkou 2A/gG
FA01	jistič třífázový min. 6 A
ZS	zkušební svorkovnice
Barevné značení vodičů: h – hnědý, č – černý, š – šedý, sm – světle modrý, zž – zelenožlutý	

Obr. 17 Primární třísystemové měření v třívodičové síti

3.5.6.1 Výhody

- Měření větších výkonů na napěťové hladině VN
- Lze použít v odběrných a předávacích místech s větším počtem instalovaných silových transformátorů
- Elektroměr měří proudy ve třech fázích

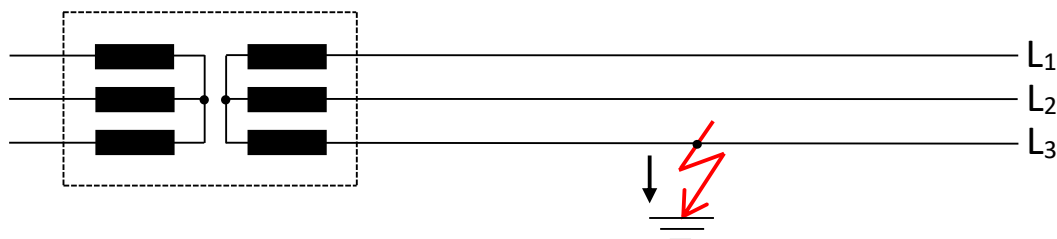
3.5.6.2 Nevýhody

- Složitá montáž
 - Užití MTP, MTN, zkušební svorkovnice
 - Riziko záměny proudových a napěťových okruhů jednotlivých fází
- Finančně nejnákladnější varianta

4. Stavy v distribuční soustavě

4.1 Zemní spojení

Zemní spojení se vyskytuje v izolované soustavě. Jedná se o nežádoucí vodivé spojení jedné fáze se zemí, obr. 18. Zemní spojení se nepovažuje za zkrat, nemusí dojít k bezprostřednímu odpojení. Zkratem v izolované soustavě je stav, kdy dojde ke spojení dvou fází se zemí, třeba i ve dvou různých místech.



Obr. 18 Zemní spojení

4.2 Zkrat

Zkratem nazýváme nežádoucí spojení nakrátko mezi fázemi nebo zemí a fázemi. Je důsledkem poruchy nebo špatného propojení DS. Při zkratu vznikají velké nadproudy. V elektrických zařízeních se projevují nežádoucími účinky s vážnými následky, při kterých může dojít k ohrožení funkcí a bezpečnosti provozu elektrického zařízení, ale také k ohrožení bezpečnosti obsluhy elektrického zařízení. Vhodně nastavené ochrany provedou ihned po vzniku poruchy samočinné odpojení místa poruchy od zdroje. Proto je působení zkratových proudů krátkodobé. Vzhledem k velikosti nadproudů mohou být zkraty destruktivní pro mnoho elektrických zařízení. Elektrické zařízení dimenzujeme s ohledem na účinky zkratových proudů. Čím je zkratový proud větší, tím jsou jeho účinky výraznější. Mezi hlavní účinky patří nebezpečí úrazu elektrickým proudem, pokles napětí, dynamické síly, tepelné účinky.

4.2.1 Účinky zkratů

4.2.1.1 Nebezpečí úrazu elektrickým proudem

Při poškození izolace fázového vodiče může dojít ke spojení s neživou částí elektrického zařízení a tím vznikne zkrat. Napětí na neživé části elektrického zařízení může dosáhnout hodnoty vyšší než hodnoty dovoleného napětí.

4.2.1.2 Tepelné účinky

Vodičem procházející zkratový proud způsobuje vznik velkého tepla. Dochází k nadměrnému oteplení vodiče, vlivem kterého dochází k degradaci izolace vodiče, degradaci mechanických vlastností vodičů, popř. k jejich roztavení.

4.2.1.3 Dynamické síly

Dynamické síly vzniklé zkratovým proudem nepříznivě působí téměř na všechna zařízení, počínaje namáhání vodičů na ohyb, silově působí na upevňovací konstrukce vodičů, namáhají vinutí točivých strojů, vinutí transformátorů. U spínačů a stykačů je nebezpečí svaření nebo upálení kontaktů vlivem krátkodobého oddálení kontaktů.

4.2.1.4 Pokles napětí

V místě nedokonalého zkratu je hodnota napětí nižší než hodnota jmenovitého napětí. Při dokonalém zkratu je hodnota napětí v místě zkratu téměř rovna nule. Směrem od místa zkratu ke zdroji napětí stoupá. Tyto poklesy napětí mají významný vliv na funkci provozovaných elektrických zařízení, například na:

- funkci elektrotepelných zařízení, jejichž výkon závisí na druhé mocnině napětí,
- funkci asynchronních motorů, jejichž moment závisí na druhé mocnině napětí.

4.2.2 Dokonalý zkrat

Dokonalý zkrat vzniká dokonalým galvanickým spojením fází (fáze a země), tedy předmětem se zanedbatelnou impedancí. Příkladem je překopnutí kabelového vedení kovovou lžící bagru při provádění výkopových prací, zapomenutý klíč na sběrných v rozváděči. Při dokonalém zkratu dosahují zkratové proudy značných hodnot. Před vybavením ochrany se většina dokonalých zkratů změní v obloukový zkrat.

4.2.3 Nedokonalý zkrat

Nedokonalý zkrat vzniká nedokonalým spojením, tedy předmětem, jehož hodnota impedance je zanedbatelná. Příkladem může být větev stromu dotýkající se holého vodiče venkovního vedení, vodivá kapalina, hořící oblouk. Impedance má vliv na velikost zkratového proudu, který u nedokonalého zkratu nemusí být výrazně větší než jmenovité proudy elektrických zařízení.

4.2.4 Obloukový zkrat

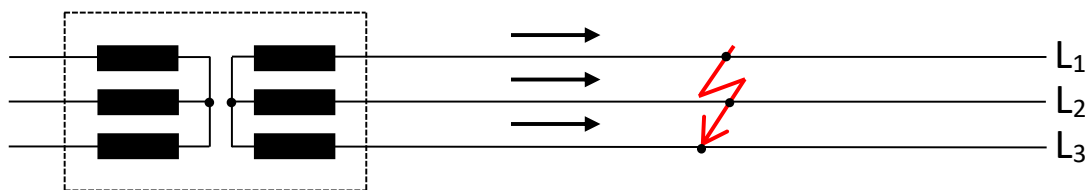
Obloukový zkrat vzniká přiblížením ploch vodičů na přeskokovou vzdálenost. Přiblížení má za následek snížení izolační pevnosti a vzniku elektrického oblouku. Délka i proud oblouku se v průběhu zkratu neustále mění, tím se mění i jeho impedance.

4.2.5 Souměrný zkrat

V případě současného postižení všech tří fází jde o souměrný třífázový zkrat. Vodiče ve všech třech fázích jsou stejně postižené, vedou stejně velký zkratový proud. Objevuje se především v kabelovém vedení, ve kterém působením vlivu oblouku přecházejí jiné druhy poruch v třífázový souměrný zkrat. Můžou nastat dva typy, třífázový zkrat obr. 19 nebo třífázový zemní zkrat obr. 20.

4.2.5.1 Třífázový zkrat

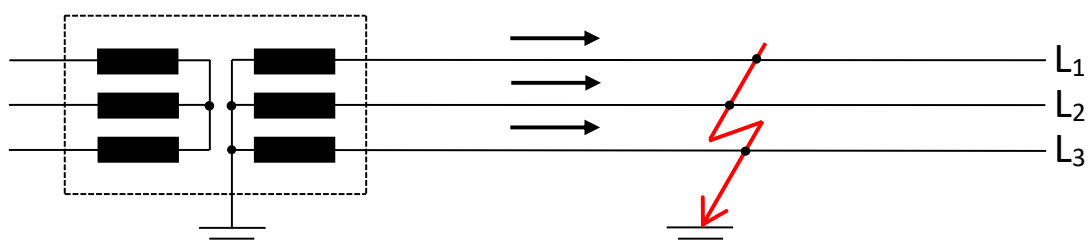
Třífázový zkrat je jediný souměrný zkrat. Nastává při kovovém vzájemném spojení všech tří fází elektrizační soustavy v jednom místě. Postižení fází je přibližně stejné, fáze vedou stejný zkratový proud, který často dosahuje nejvyšší hodnoty. Nejčastěji se vyskytuje v kabelových sítích.



Obr. 19 Třífázový zkrat

4.2.5.2 Třífázový zemní zkrat

Třífázový zemní zkrat nastává při spojení všech tří fází v jednom místě a zároveň jejich spojením se zemí.



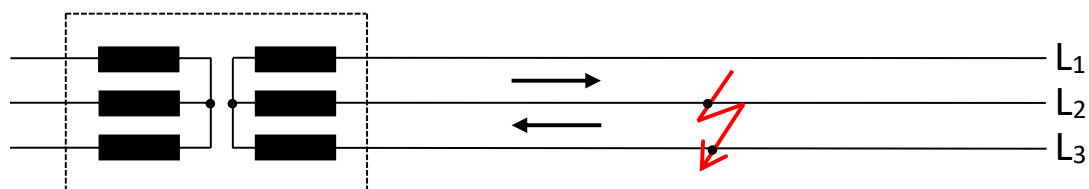
Obr. 20 Třífázový zemní zkrat

4.2.6 Nesouměrný zkrat

Nesouměrný zkrat nastává v případě poškození jedné nebo dvou fází. Vodiče ve všech třech fázích jsou různě postižené a nevedou stejně velký zkratový proud. Objevuje se především ve venkovním vedení.

4.2.6.1 Dvoufázový zkrat

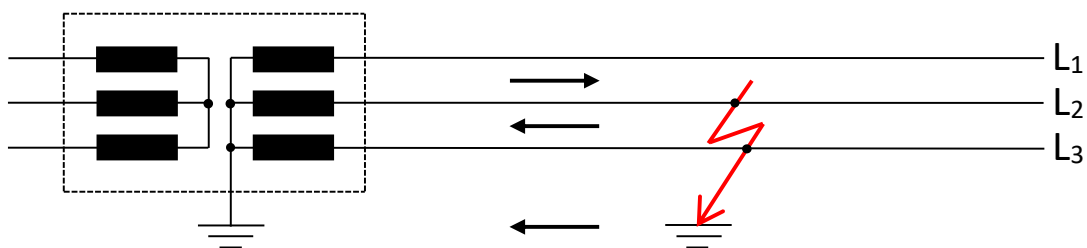
Nastává při spojení dvou libovolných fází v jednom místě v sítích s izolovaným uzlem zdroje (IT), nebo v uzemněných sítích (TN, TT) spojením dvou fází bez kontaktu se zemí.



Obr. 21 Dvoufázový zkrat

4.2.6.2 Dvoufázový zemní zkrat

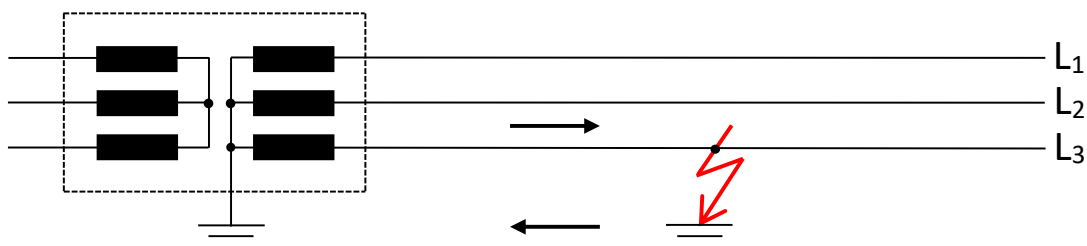
Nastává při spojení dvou libovolných fází se zemí v sítích s uzemněným uzlem zdroje (TN, TT).



Obr. 22 Dvoufázový zemní zkrat

4.2.6.3 Jednofázový zkrat

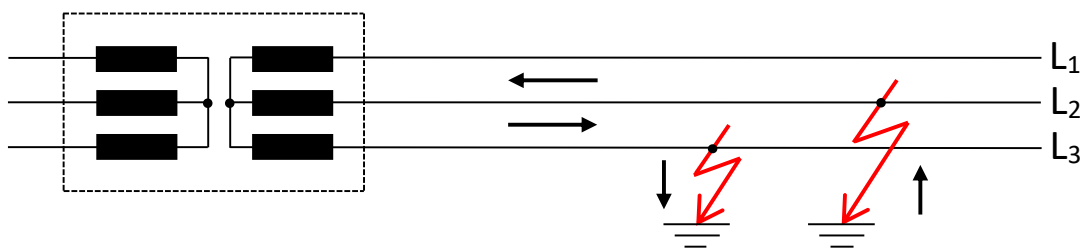
Nastává při spojení jedné fáze se zemí v sítích s uzemněným uzlem zdroje (TN, TT).



Obr. 23 Jednofázový zkrat

4.2.6.4 Simultánní zkrat

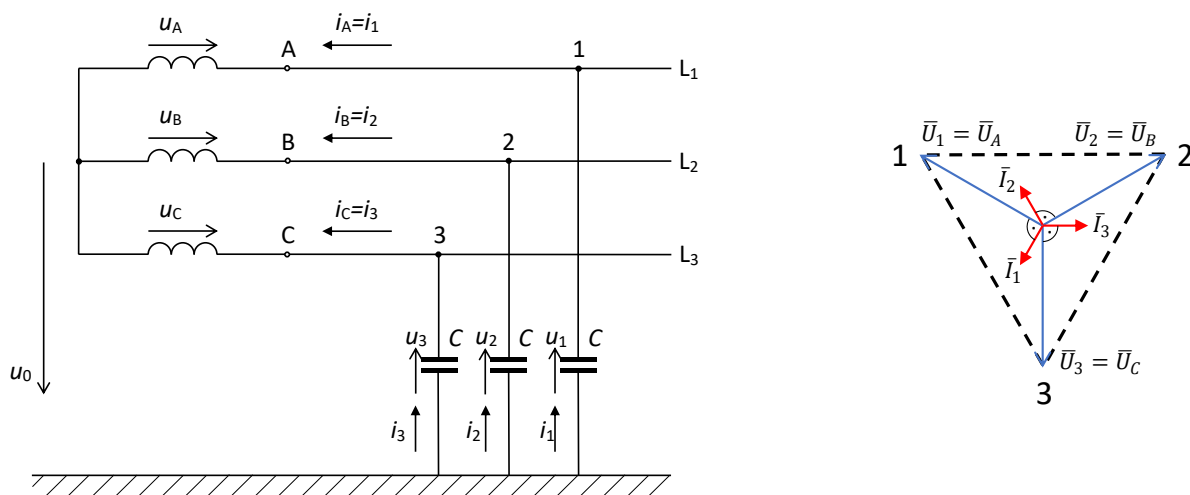
Nastává při spojení dvou libovolných fází ve dvou různých místech a zároveň jejich spojením se zemí.



Obr. 24 Simultánní zkrat

4.3 Normální provozní stav

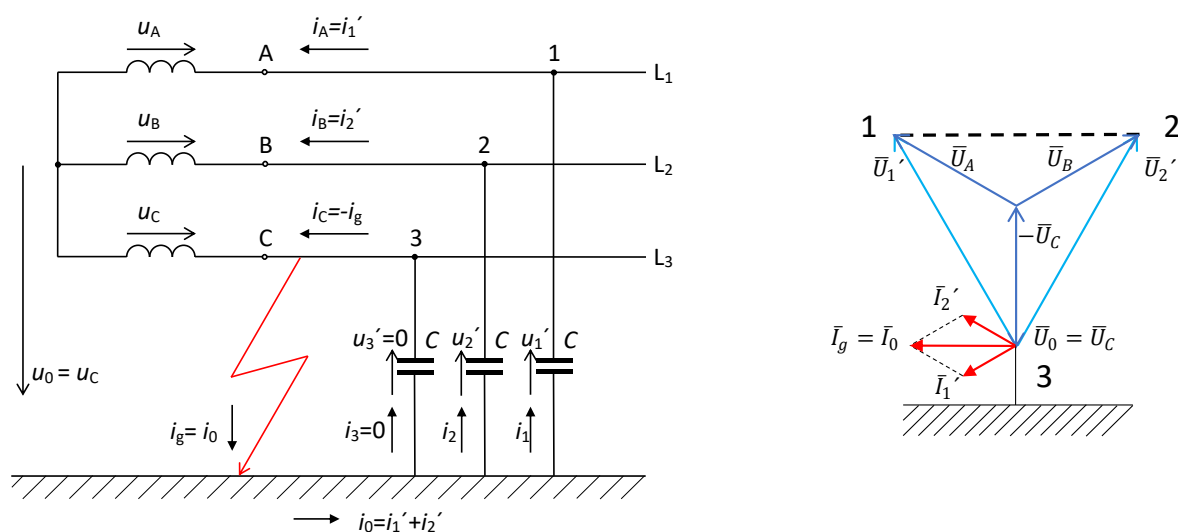
Při normálním, bezporuchovém provozu sítě, jsou hodnoty napětí ve všech fázích přibližně stejné a jsou na úrovni fázového napětí. Taktéž proudy jsou přibližně stejné se stejným fázovým posunem. Fázory proudu a napětí pro síť s izolovanou nulou jsou zobrazeny v obr. 25.



Obr. 25 Normální provozní stav, fázory

4.4 Poruchový stav při zemním spojení

Nastává při spojení jedné fáze se zemí v sítích s izolovaným uzlem zdroje (IT). Poruchou postiženou fází je L3, ve které napětí klesá k nule. V nepostižených fázích L1 a L2 roste napětí až na hodnoty sdruženého napětí. Toto zvyšuje riziko vzniku další poruchy. Napětí uzlu U_0 se pohybuje na hodnotě fázového napětí. Fázory proudu a napětí jsou zobrazeny v obr. 26.



Obr. 26 Poruchový stav, fázory

5. Analýza naměřených dat

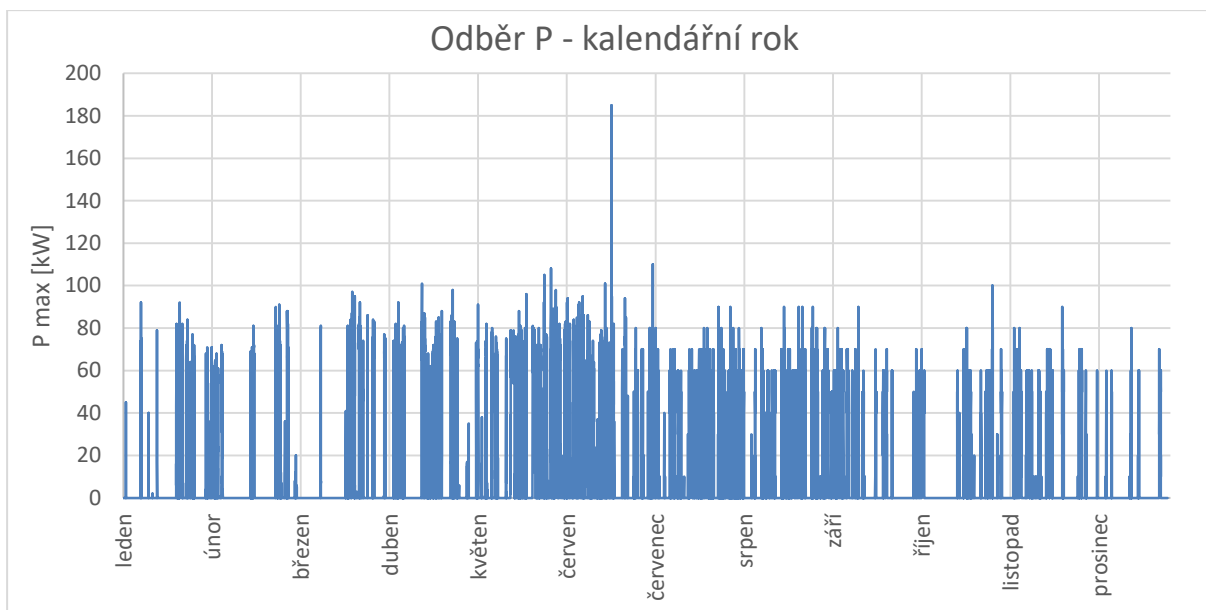
Zdrojem pro analýzu dat v praktické části diplomové práce jsou naměřená data u provozovatelů odběrných a předávacích míst. U předávacích míst s připojeným zdrojem elektrické energie, docházelo k nepravidelným výkyvům při odběru činného výkonu. Tyto nepravidelné výkyvy překračovaly hodnoty rezervovaného příkonu sjednaného ve smlouvě o připojení s PDS, což způsobilo nežádoucí účtování překročení rezervovaného příkonu. Jednotlivé případy jsou analyzovány zvlášť v kapitolách níže. Pro přehlednost je dodávka činné energie do DS znázorněna červeně, odběr činné energie z DS je znázorněn modře.

5.1 Případ A

V odběrném a předávacím místě je připojen park větrných elektráren s celkovým instalovaným výkonem okolo 14 MW. Jedná se o asynchronní generátory. Odběrné a předávací místo má vzhledem k instalovanému výkonu primárně charakter dodávky činného výkonu do DS. Toto odběrné místo je dále v textu označeno jako A1. Výrobce rozporuje naměřená data fakturačním elektroměrem, konkrétně naměřená maxima odebíraného čtvrt hodinového činného výkonu. Dosažená maxima odběru výrobce zpochybňuje z níže popsanych důvodů

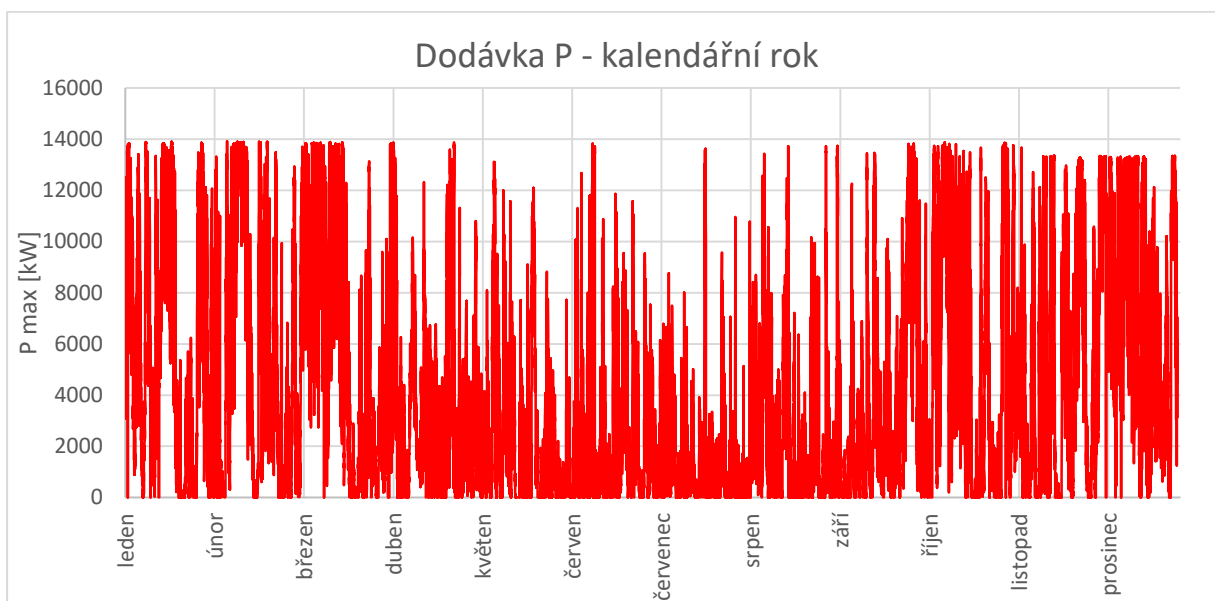
- součet instalovaných příkonů odběrných zařízení je výrazně nižší než naměřené čtvrt hodinové maximum odebíraného výkonu
- výrobce má monitorovací zařízení, ze kterého vyvozuje poruchový stav DS v době naměřeného čtvrt hodinového maxima odebíraného výkonu.

Výrobce poskytl naměřená data ze svého monitorovacího zařízení, které má instalované ve své rozvodně VN. Data z monitorovacího zařízení obsahují průběhy napětí ve všech třech fázích. Zároveň výrobce poskytl naměřené údaje z fakturačního elektroměru, který je instalován taktéž v rozvodně VN. Získaná data z fakturačního elektroměru obsahují čtvrt hodinová maxima dodávky a odběru činného i jalového výkonu. Měřicí systém fakturačního elektroměru je připojen dle platných připojovacích podmínek v Aronově zapojení. MT fakturačního měření jsou instalované v zapouzdřené rozvodně VN. Nebylo možné ověřit, ve kterých fázích jsou zapojené MTP.



Obr. 27 Roční průběh odebraného činného výkonu odběrného místa A1

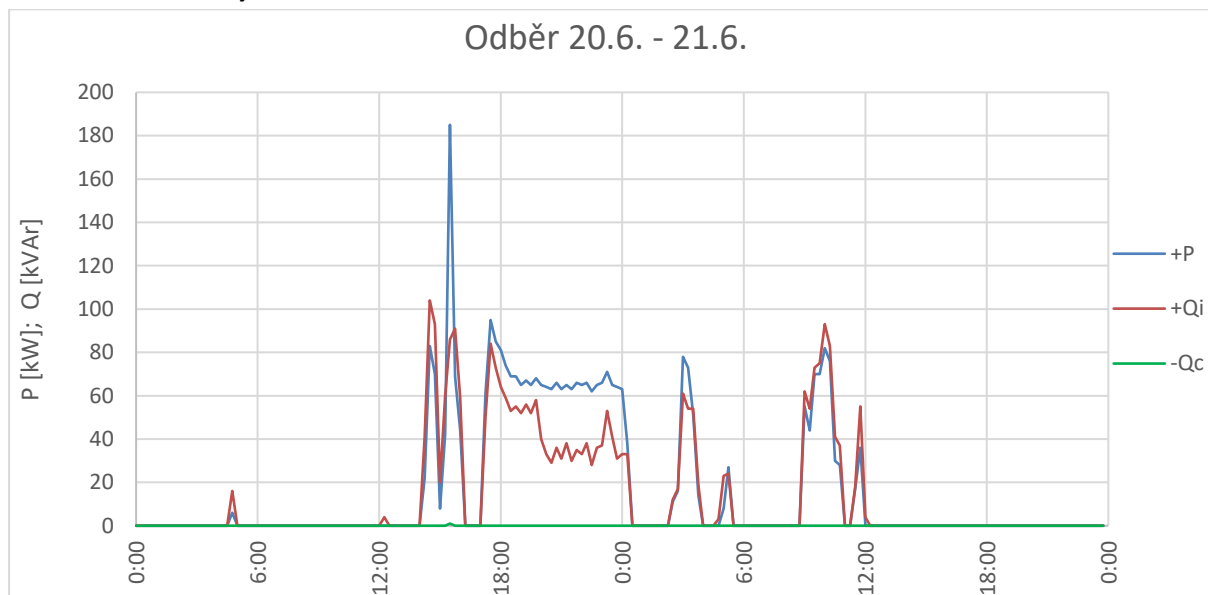
Graf znázorňuje naměřená čtvrt hodinová maxima odebíraného činného výkonu v kalendářním roce. Z grafu lze vyčíst ojedinělou špičku, která byla dosažena přibližně v polovině června. Tato špička téměř dvojnásobně překračuje hodnoty průměrně dosahovaného čtvrt hodinového výkonu.



Obr. 28 Roční průběh dodaného činného výkonu odběrného místa A1

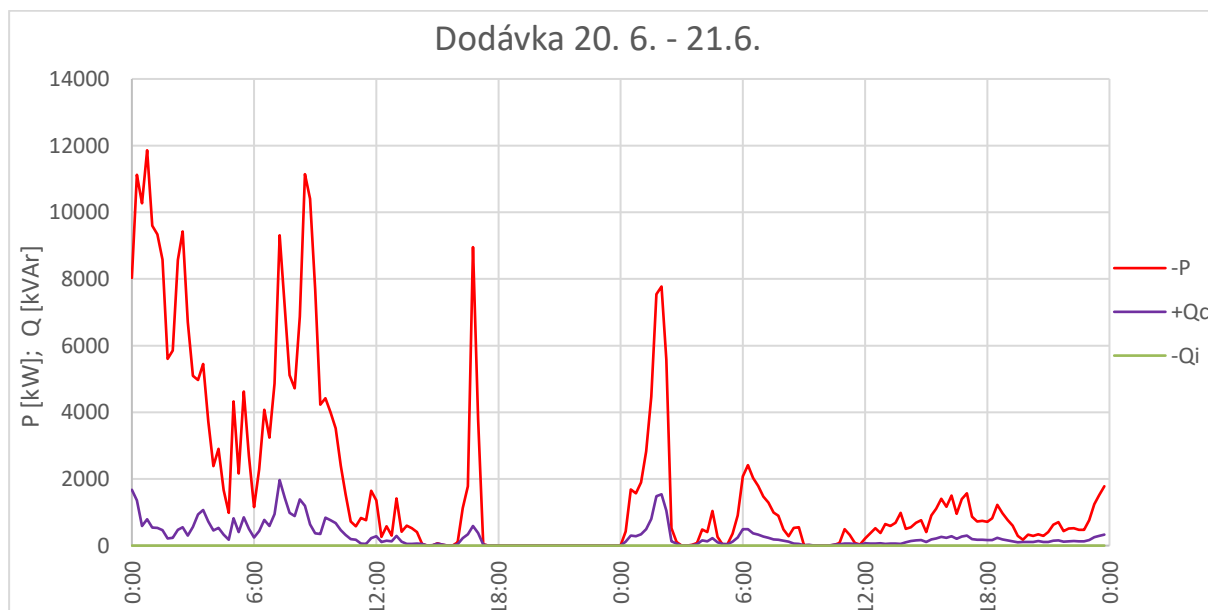
Graf znázorňuje naměřená čtvrt hodinová maxima dodaného činného výkonu v kalendářním roce. Z grafu lze odečíst standardní dosahované hodnoty 14 MW, nejsou pozorovatelné anomálie při dodávce činného výkonu.

5.1.1 Analýza naměřeného maxima



Obr. 29 Dvoudenní průběh při odběru činného výkonu místa A1

V obr. 29 je vykreslen dvoudenní průběh při odběru činného výkonu. Dle naměřených dat došlo ke zvýšení čtvrt hodinového maxima činného výkonu pouze krátkodobě. Po většinu sledovaného období dosahuje odebíraný činný výkon nejvýše poloviční velikosti čtvrt hodinového maxima.

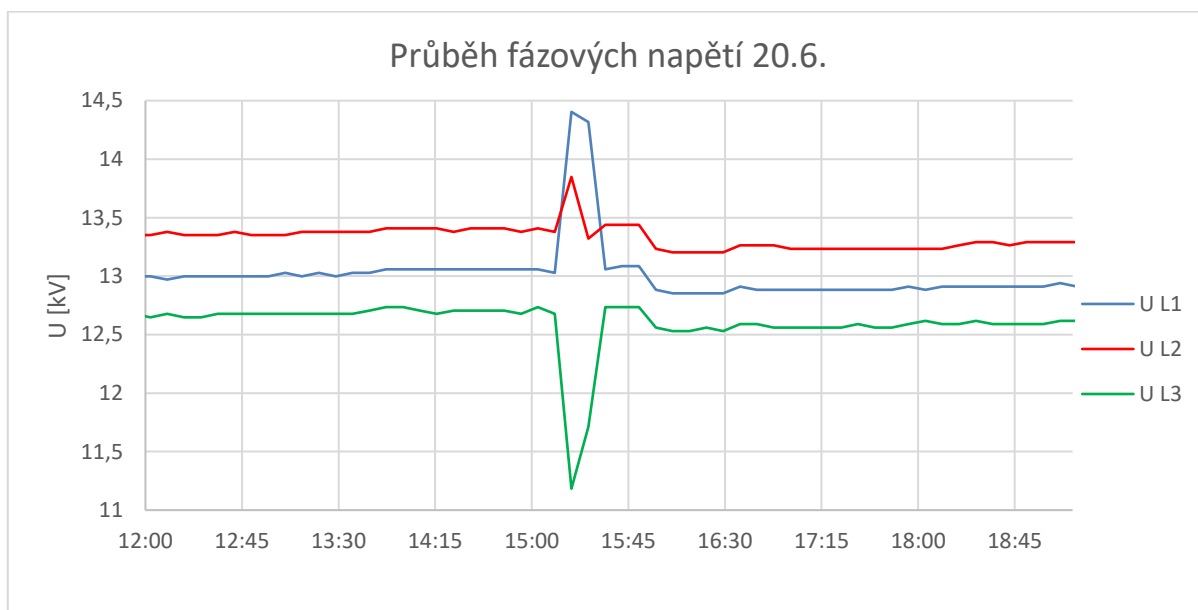


Obr. 30 Dvoudenní průběh při dodávce činného výkonu místa A1

V obr. 30 je vykreslen dvoudenní průběh při dodávce činného výkonu. Není zde žádná souvislost s naměřeným čtvrt hodinovým maximem odebíraného činného výkonu.

5.1.2 Analýza naměřených dat ze dne 20. 6.

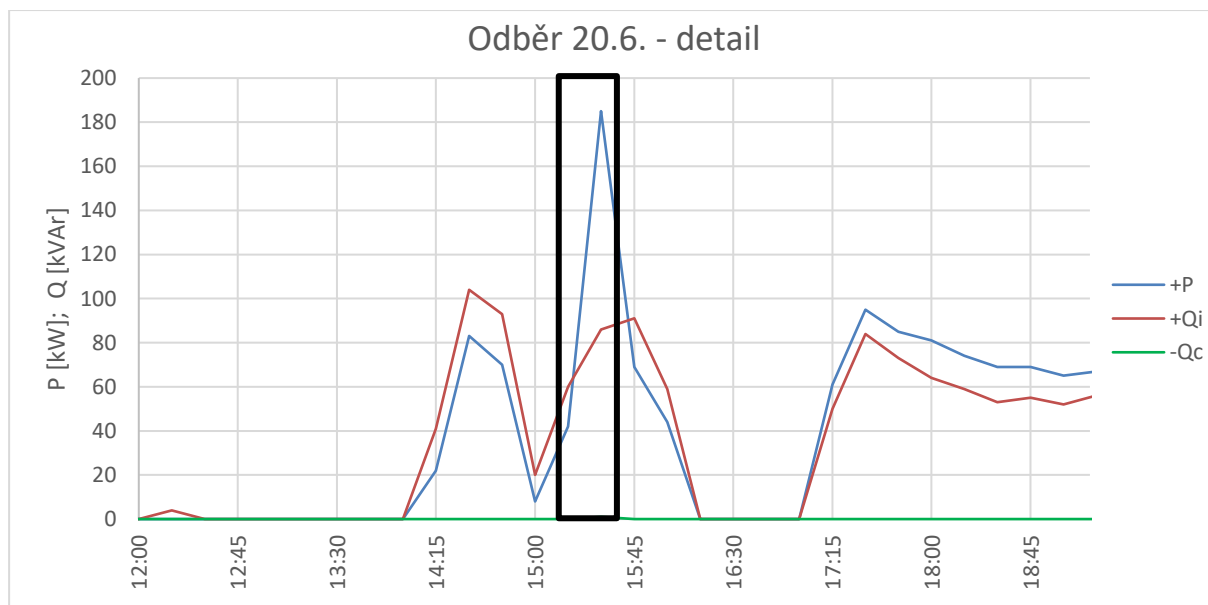
Pro detailnější analýzu bylo provedeno vykreslení grafů odběru a dodávky činné energie současně s jalovou energií příslušných kvadrantů. V detailních grafech je zvýrazněn tmavým obdélníkem čas poruchy, který je identifikován z naměřených dat z rozvodny VN.



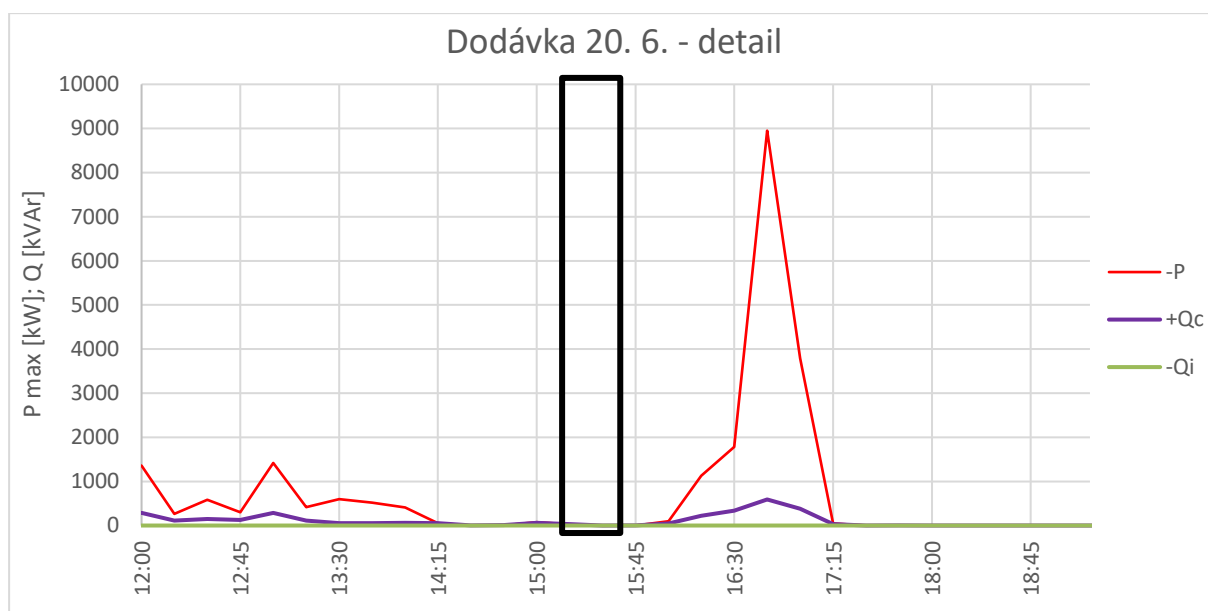
Obr. 31 Průběh fázových napětí místa A1

Na obr. 31 jsou graficky znázorněné naměřené údaje fázových napětí získaných z monitorovacího zařízení instalovaného v rozvodně VN. V čase po 15. hodině dochází k rozkolísání fázových napětí. Toto rozkolísání odpovídá zemnímu spojení. Hodnota napětí postižené fáze klesá, přičemž hodnoty nepostižených fází rostou.

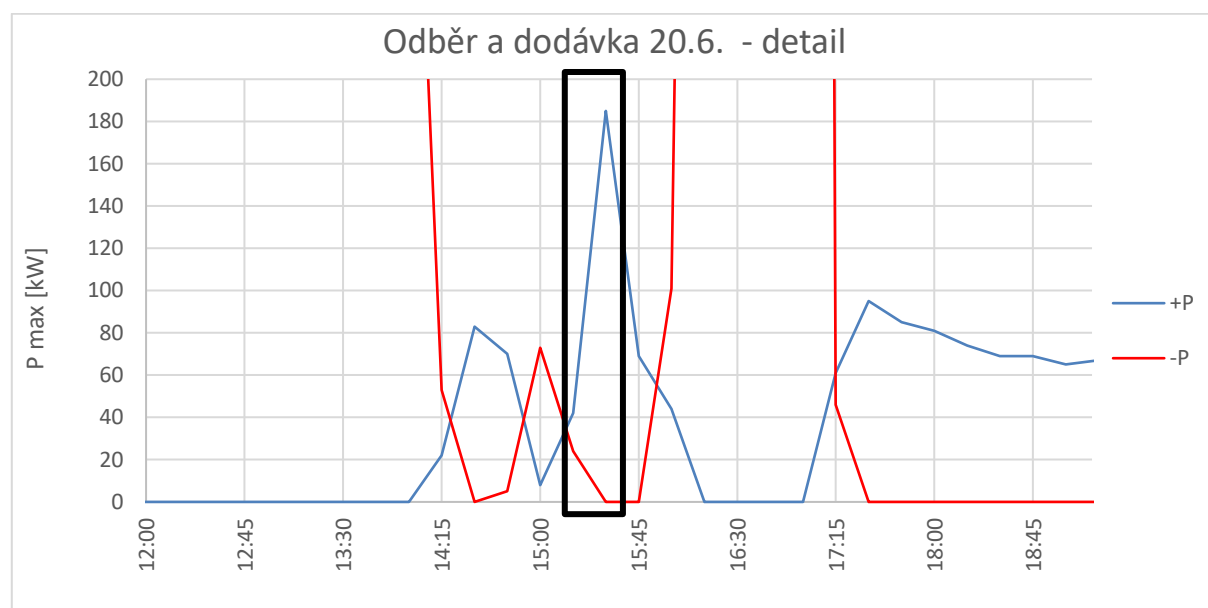
Na obr. 32 až 34 jsou zobrazeny detaily průběhů výkonů v době zemního spojení.



Obr. 32 Průběh při odběru činného výkonu místa A1 s vyznačenou dobou zemního spojení



Obr. 33 Průběh při dodávce činného výkonu místa A1 s vyznačenou dobou zemního spojení



Obr. 34 Průběh dodávky a odběru činného výkonu místa A1 s vyznačenou dobou zemního spojení

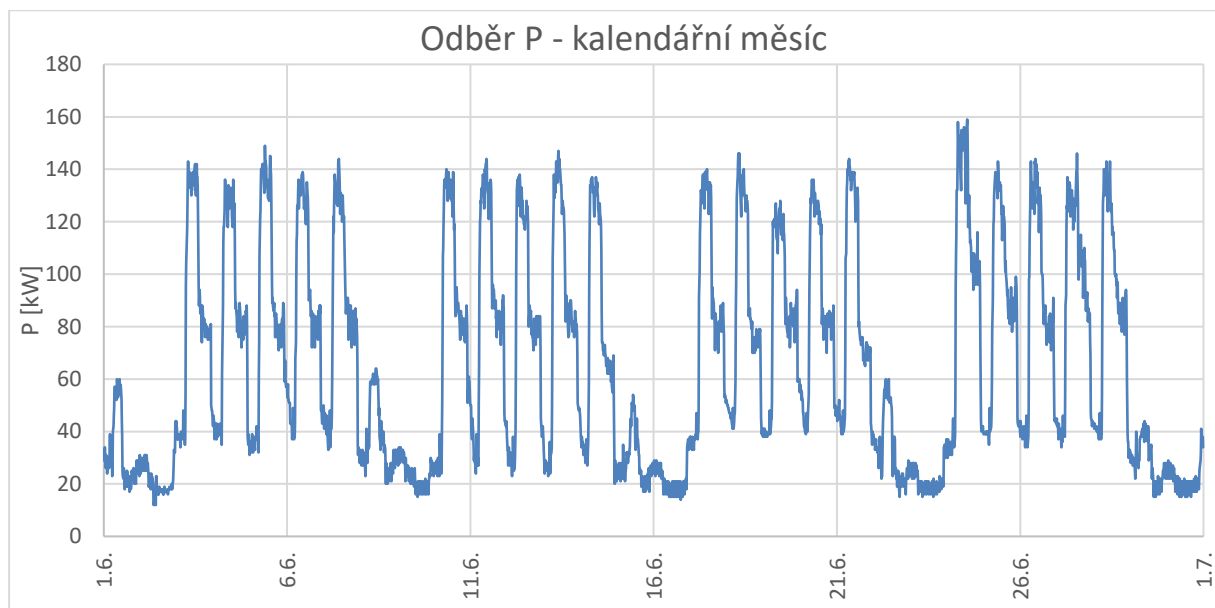
Dle obr. 34 lze vysledovat snížení hodnot červené křivky představující výkon vyváděný do DS. Předpokladem snížení dodávky činného výkonu je působení ochran výroby, které zajistily odřazování zdroje od DS při poklesu hodnot napájecího napětí. Modrá křivka představující odběr výkonu z DS naopak skokově roste na dvojnásobnou hodnotu oproti běžnému maximu. Po odeznění zemního spojení se zdroj s časovým odstupem přifázuje k DS a směr činného výkonu přechází z odběru do dodávky.

5.1.3 Analýza naměřených hodnot okolních odběrných míst

Poblíž výše uvedené větrné elektrárny jsou připojena odběrná místa, u kterých je provedena shodná analýza naměřených hodnot. Záměrně byla zvolena odběrná místa s různým charakterem odběru a s různým provedením měřicího systému.

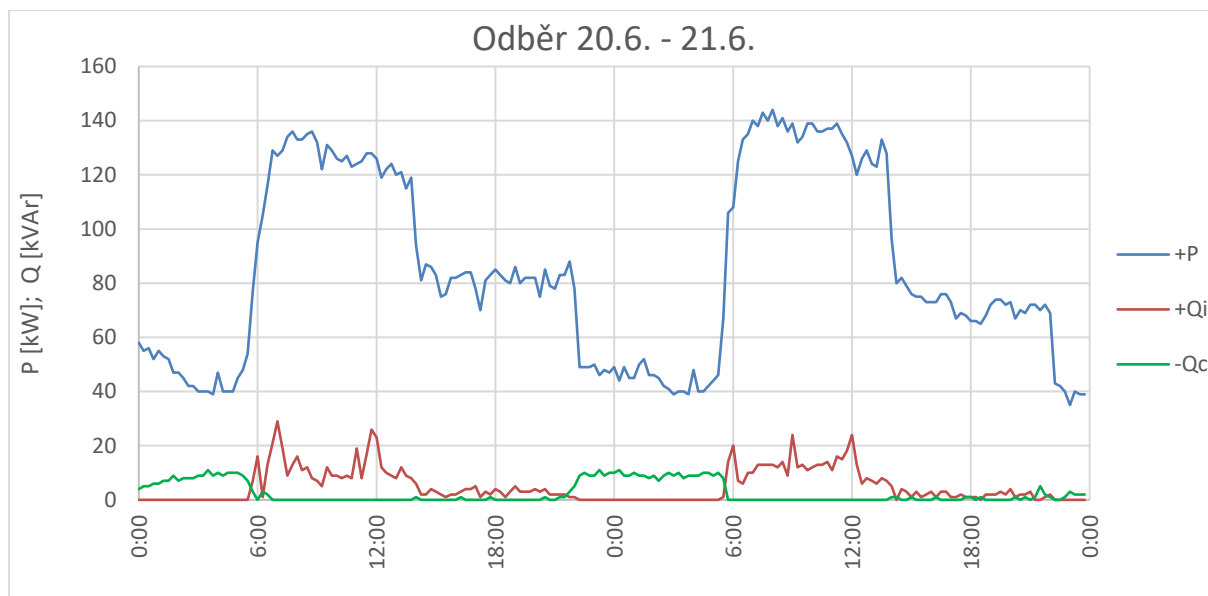
5.1.3.1 Odběr měřený měřicí soupravou v Aronově zapojení

Do analýzy bylo zahrnuto odběrné místo připojené z hladiny VN. Toto odběrné místo je měřeno na primární straně silového transformátoru, měřicí systém je v provedení Aronova zapojení. Dosahovaná čtvrt hodinová maxima činného výkonu jsou po celou dobu vyvážená, nepřekračují hodnoty 160 kW. Toto odběrné místo je dále v textu označeno jako A2.

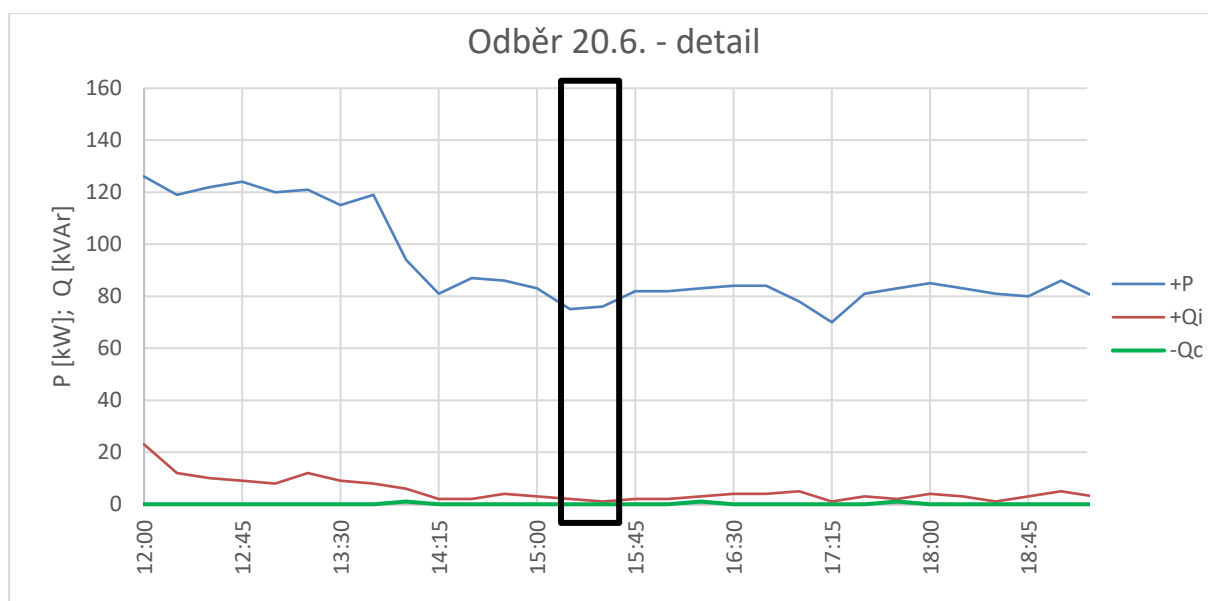


Obr. 35 Měsíční průběh odebraného činného výkonu odběrného místa A2

Dle naměřených maximálních čtvrt hodinových hodnot činného výkonu nelze pozorovat ve sledovaném období žádné anomálie. Odběr je dle grafického znázornění vyvážený. Lze vypožorovat zvýšený odběr v pracovních dnech, v nočních hodinách a ve dnech pracovního klidu je odběr na úrovni provozního technického minima.



Obr. 36 Dvoudenní průběh při odběru činného výkonu místa A2

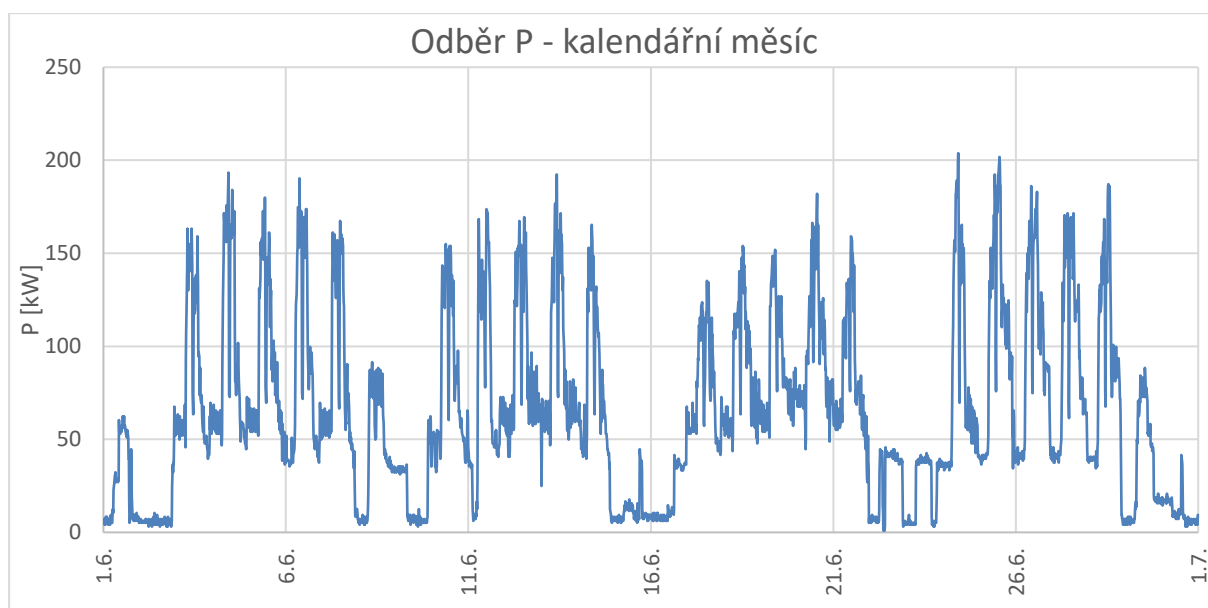


Obr. 37 Průběh při odběru činného výkonu místa A2 s vyznačenou dobou zemního spojení

V detailním grafickém zobrazení naměřených dat není zjevná žádná naměřená anomálie. Z naměřeného průběhu lze usoudit, že zemní spojení nemělo vliv na naměřené údaje.

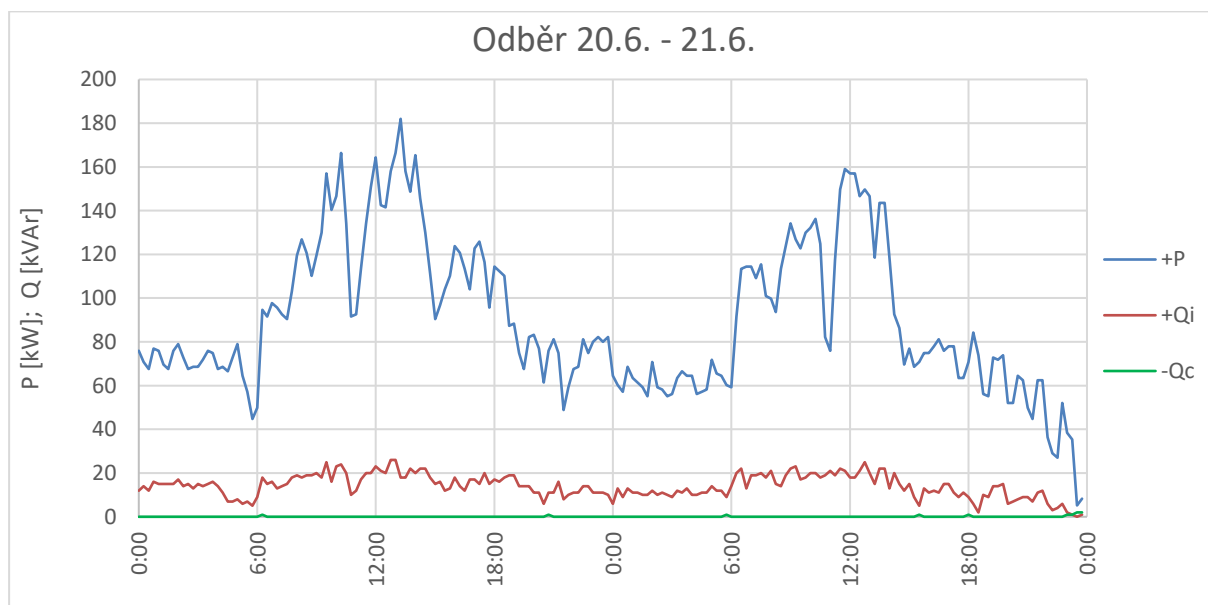
5.1.3.2 Odběr měřený měřicím systémem umístěným na sekundární straně transformátoru

Do analýzy bylo zahrnuto další odběrné místo připojené z hladiny VN. Toto odběrné místo je měřeno na sekundární straně silového transformátoru, měřicí systém je v zapojení pomocí tří MTP. Dosahovaná čtvrt hodinová maxima činného výkonu jsou po celou dobu vyvážená, nepřekračují hodnoty 210 kW. Toto odběrné místo je dále v textu označeno jako A3.

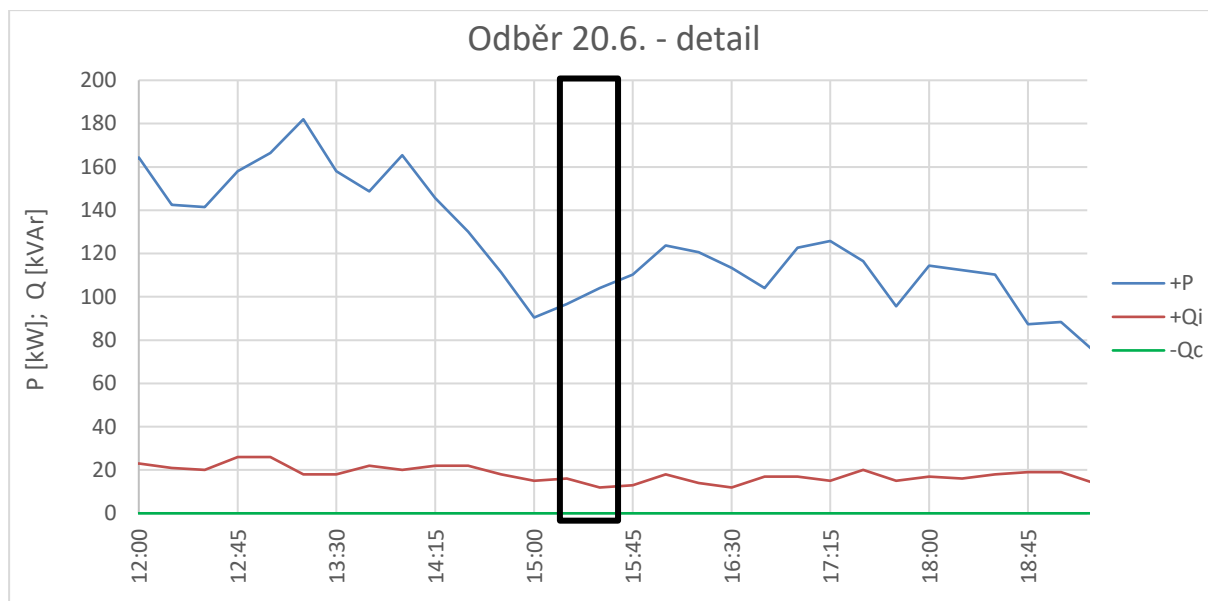


Obr. 38 Měsíční průběh odebraného činného výkonu odběrného místa A3

Dle naměřených maximálních čtvrt hodinových hodnot činného výkonu nelze pozorovat ve sledovaném období žádné anomálie. Odběr je dle grafického znázornění vyvážený. Lze vypořizovat zvýšený odběr v pracovních dnech, naopak v nočních hodinách a ve dnech pracovního klidu je odběr na úrovni provozního technického minima.



Obr. 39 Dvoudenní průběh při odběru činného výkonu místa A3



Obr. 40 Průběh při odběru činného výkonu místa A3 s vyznačenou dobou zemního spojení

V detailním grafickém zobrazení naměřených dat není zjevná žádná naměřená anomálie. Z naměřeného průběhu lze usoudit, že zemní spojení nemělo vliv na naměřené údaje.

5.1.4 Závěrečná analýza případu A

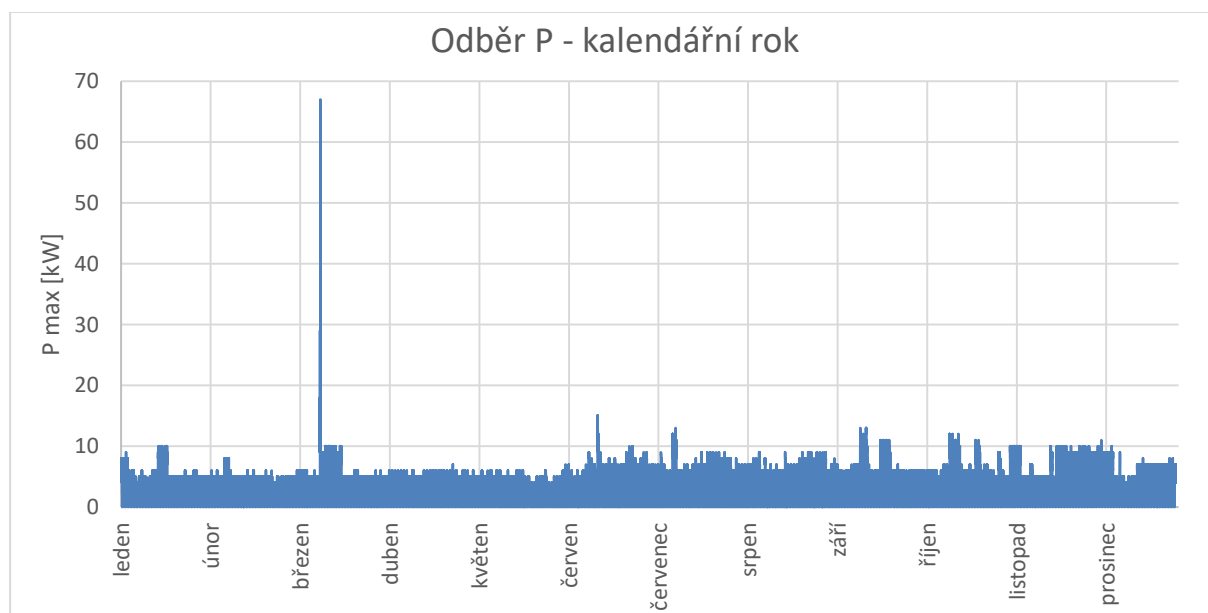
- 1) Při potvrzeném zemním spojení nebyla u odběrných míst bez výroby zjištěna žádná anomálie. Nedošlo k žádným špičkám v dosažených čtvrt hodinových maximech činného výkonu.
- 2) Pouze u výroby došlo vlivem poruchového stavu ke změně. Měřicí systém zaznamenal v inkriminované čtvrt hodině špičku odebíraného činného výkonu představující téměř dvojnásobek běžně dosahovaných hodnot čtvrt hodinového maxima.
- 3) Působením nastavených síťových ochran výroby došlo k odfázování výroby od DS. Hodnota dodávky činného výkonu v době poruchy klesá k nule, přičemž naměřené hodnoty odběru činného výkonu z DS skokově rostou.
- 4) Přejít z generátorického do motorického stavu je nepravděpodobný, bylo by to proti nastavené logice větrného parku. Logika je nastavena tak, aby energie větru roztáčela vrtuli větrné elektrárny, kinetická energie se mění v generátoru v energii elektrickou, nikoliv naopak.
- 5) Dosažený elektrický výkon nemohl být spotřebován spotřebiči v odběrném místě. Nejsou zde instalované žádné spotřebiče, které by takové množství elektrického výkonu mohly odebrat. Podezřelou částí elektrárny byly brzdící ochranné systémy vrtulí. Brzdící systém je však navržen tak, aby nebyl závislý na dodávce elektrické energie. Proto i tato úvaha byla vyvrácena.

5.2 Příklad B

V odběrném a předávacím místě je připojena fotovoltaická elektrárna s celkovým instalovaným výkonem okolo 3 MW. Jedná se o statický generátor. Odběrné a předávací místo má vzhledem k instalovanému výkonu primárně charakter dodávky činného výkonu do DS. Toto odběrné místo je dále v textu označeno jako B1. Výrobce rozporuje naměřená data fakturačním elektroměrem, konkrétně naměřená maxima odebíraného čtvrt hodinového činného výkonu. Dosažená maxima odběru výrobce zpochybňuje z níže popsanych důvodů

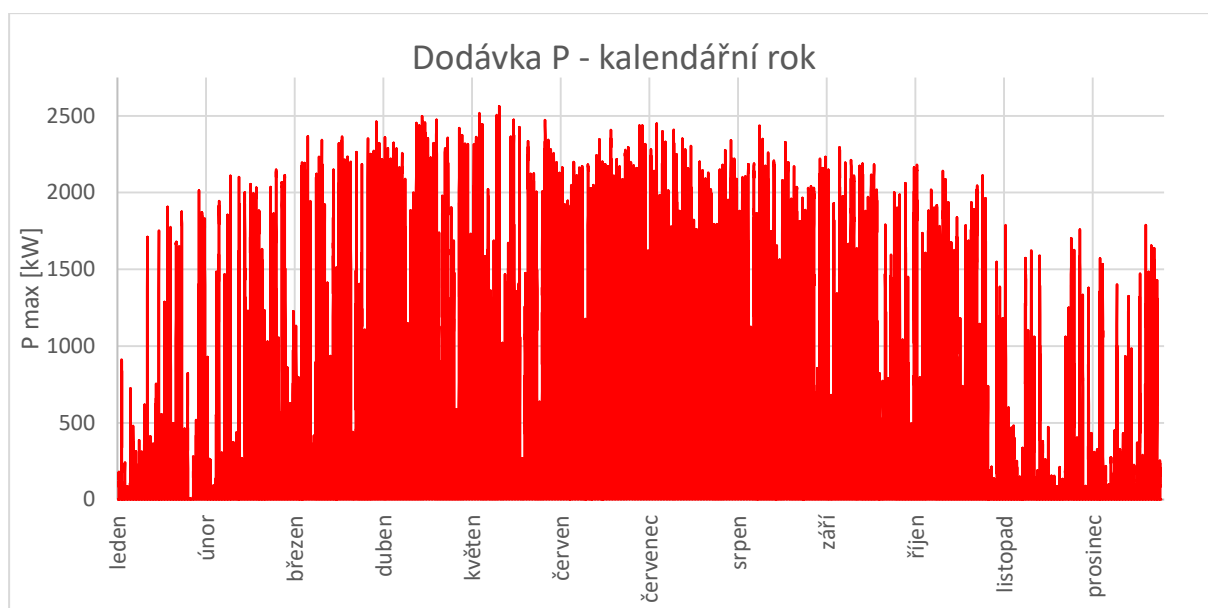
- součet instalovaných příkonů odběrných zařízení je výrazně nižší než naměřené čtvrt hodinové maximum odebíraného výkonu
- výrobce má monitorovací zařízení, ze kterého vyvozuje poruchový stav DS v době naměřeného čtvrt hodinového maxima.

Výrobce poskytl naměřená data ze svého monitorovacího zařízení, které má instalované ve své rozvodně VN. Data z monitorovacího zařízení obsahují průběhy napětí ve všech třech fázích. Zároveň výrobce poskytl naměřené údaje z fakturačního elektroměru, který je instalován taktéž v rozvodně VN. Získaná data z fakturačního elektroměru obsahují čtvrt hodinová maxima dodávky a odběru činného i jalového výkonu. Měřicí systém fakturačního elektroměru je připojen dle platných připojovacích podmínek v Aronově zapojení. MT fakturačního měření jsou instalované v zapouzdřené rozvodně VN. Nebylo možné ověřit, ve kterých fázích jsou zapojené MTP.



Obr. 41 Roční průběh odebraného činného výkonu odběrného místa B1

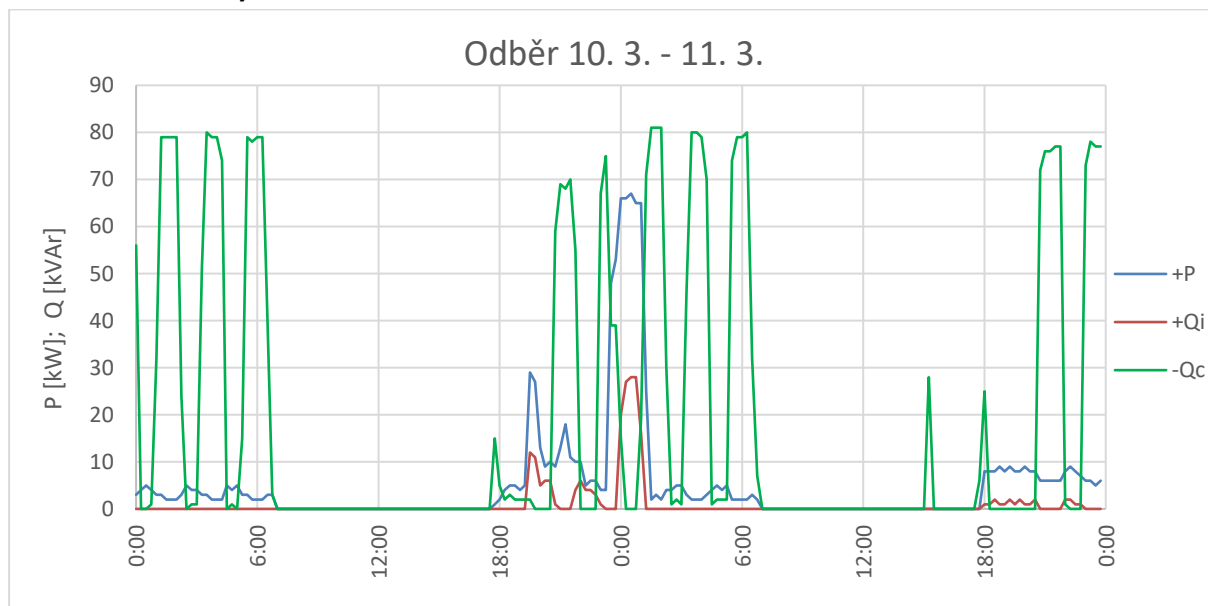
Graf znázorňuje naměřená čtvrt hodinová maxima odebíraného činného výkonu v kalendářním roce. Z grafu lze vyčíst ojedinělou špičku, která byla dosažena přibližně v první polovině března. Tato špička téměř sedminásobně překračuje hodnoty průměrně dosahovaného výkonu.



Obr. 42 Roční průběh dodaného činného výkonu odběrného místa B1

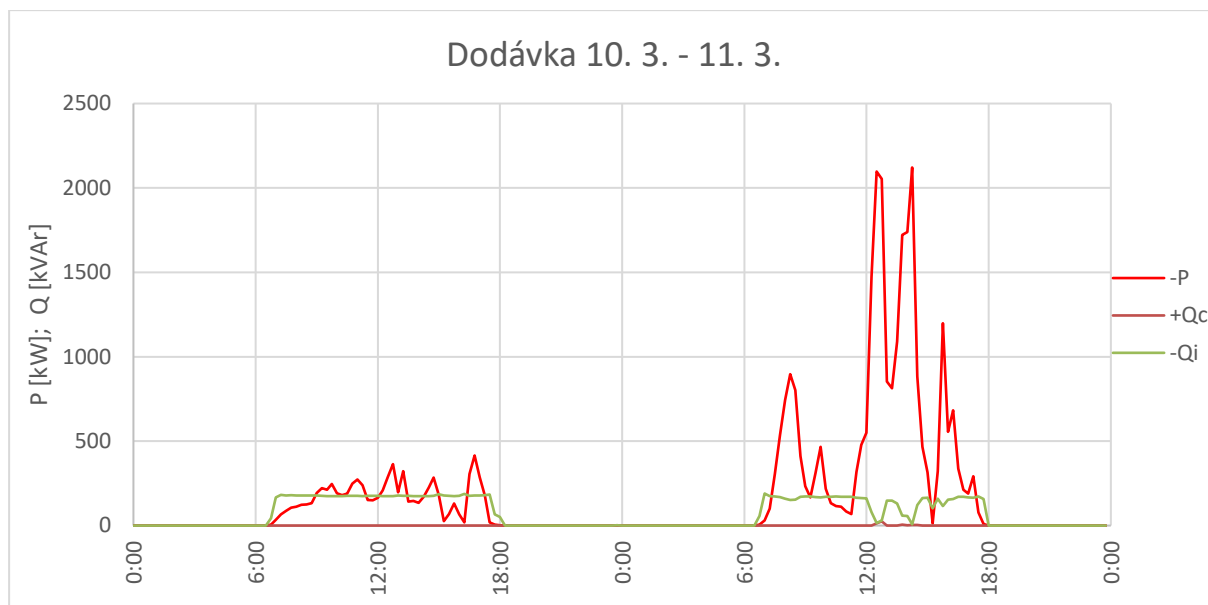
Graf znázorňuje naměřená čtvrt hodinová maxima dodaného činného výkonu v kalendářním roce. Z grafu lze odečíst standardní dosahované hodnoty 2,5 MW, nejsou pozorovatelné anomálie při dodávce činného výkonu.

5.2.1 Analýza naměřeného maxima



Obr. 43 Dvoudenní průběh při odběru činného výkonu místa B1

V obr. 43 je vykreslen dvoudenní průběh při odběru činného výkonu. Dle naměřených dat došlo ke zvýšení čtvrt hodinového maxima činného výkonu pouze krátkodobě. Po většinu sledovaného období dosahuje odebíraný činný výkon mnohem menší velikosti čtvrt hodinového maxima.

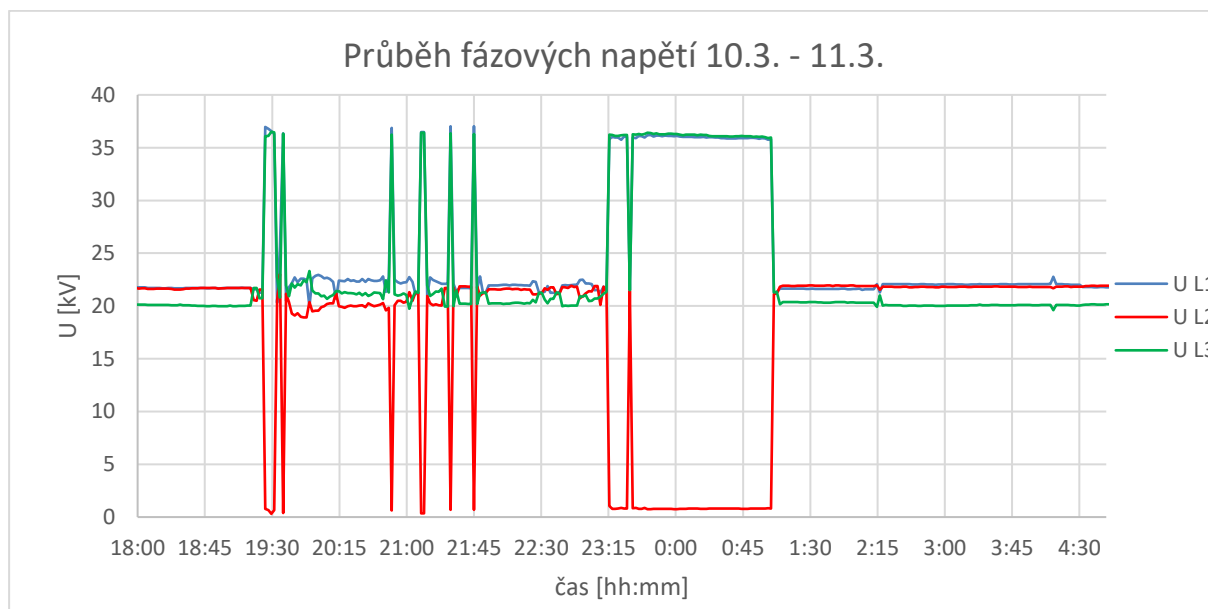


Obr. 44 Dvoudenní průběh při dodávce činného výkonu místa B1

V obr. 44 je vykreslen dvoudenní průběh při dodávce činného výkonu. Není zde žádná souvislost s naměřeným čtvrt hodinovým maximem odebíraného činného výkonu.

5.2.2 Analýza naměřených dat ze dne 10. 3. – 11. 3.

Pro detailnější analýzu bylo provedeno vykreslení grafů odběru a dodávky činné energie současně s jalovou energií příslušných kvadrantů. V detailních grafech je zvýrazněn tmavým obdélníkem čas poruchy, který je identifikován z naměřených dat ze rozvodny VN.

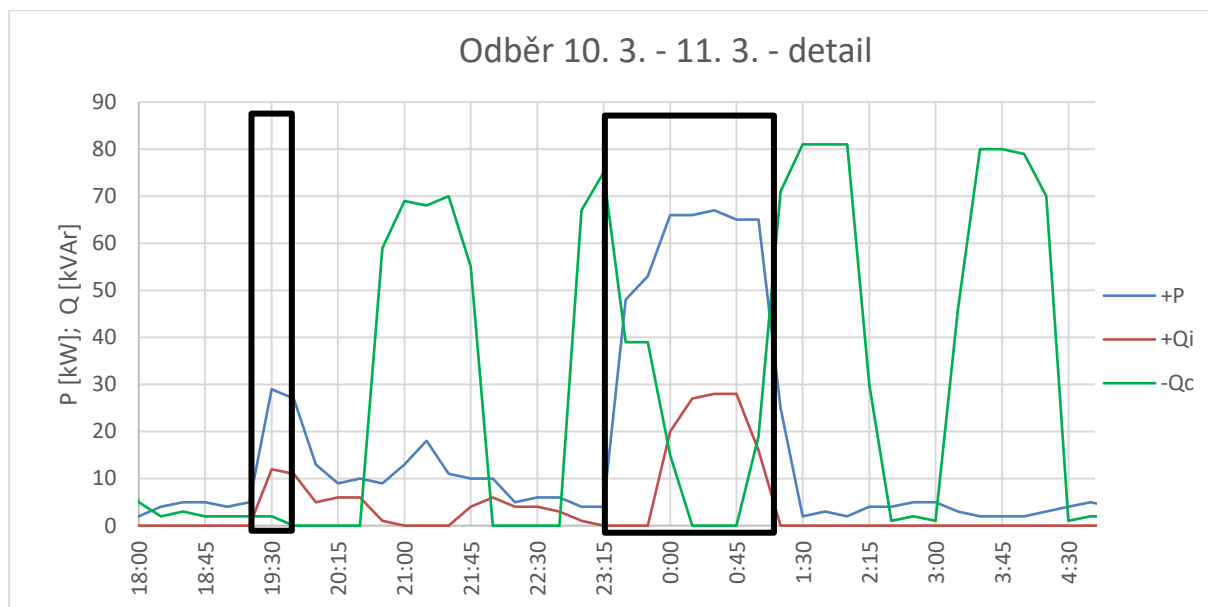


Obr. 45 Průběh fázových napětí místa B1

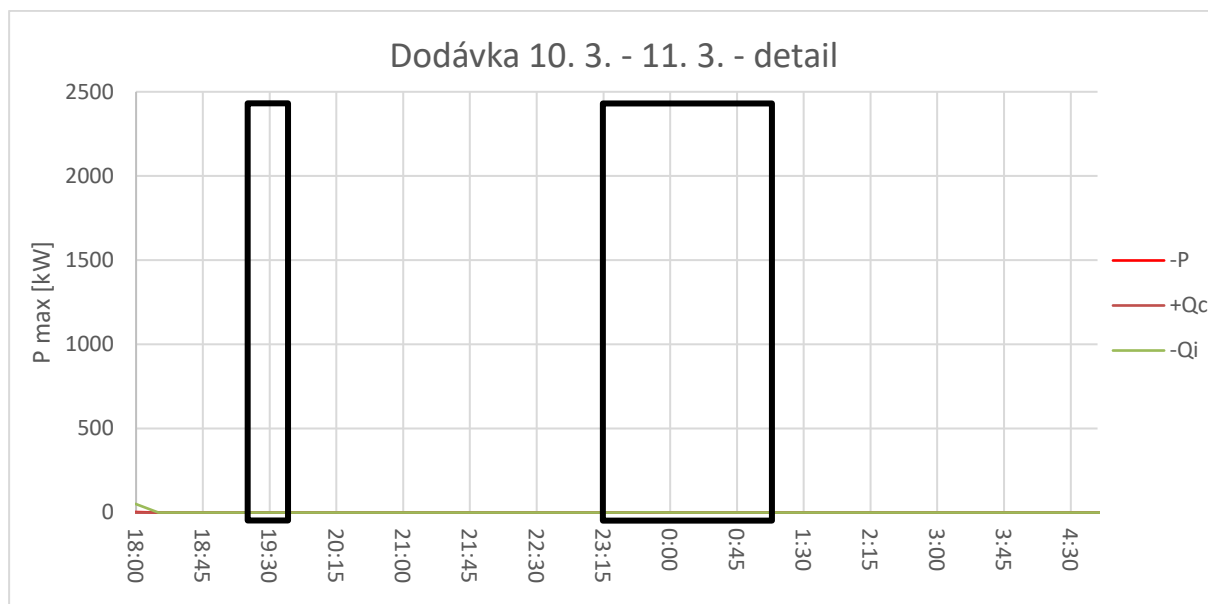
Na obr. 45 jsou graficky znázorněné naměřené údaje fázových napětí získaných z monitorovacího zařízení instalovaného v rozvodně VN. V čase po 19. hodině dochází k rozkolísání

fázových napětí. Toto rozkolísání odpovídá zemním spojením. Hodnota napětí postižené fáze klesá, přičemž hodnoty nepostižených fází rostou. Dominantní porucha je v čase od 23:15 do 01:05.

Na obr. 46 a 47 jsou zobrazeny detaily průběhů výkonů v době zemního spojení.



Obr. 46 Průběh při odběru činného výkonu místa B1 s vyznačenou dobou zemního spojení



Obr. 47 Průběh při dodávce činného výkonu místa B1 s vyznačenou dobou zemního spojení

Dle obr. 46 lze vysledovat skokové změny modré křivky představující odběr čtvrt hodinového činného výkonu z DS. Špička dosahuje až sedminásobné hodnoty oproti běžnému maximu. Po odeznění zemního spojení se odběr ustálí na hodnoty technického minima. Zajímavým poznatkem jsou pulzy dodávaného jalového výkonu. Zdrojem jalového výkonu mohou být střídače fotovoltaické elektrárny nebo porucha na kompenzační tlumivce. Dle obr. 47 lze vysledovat nulovou dodávku výkonu do DS.

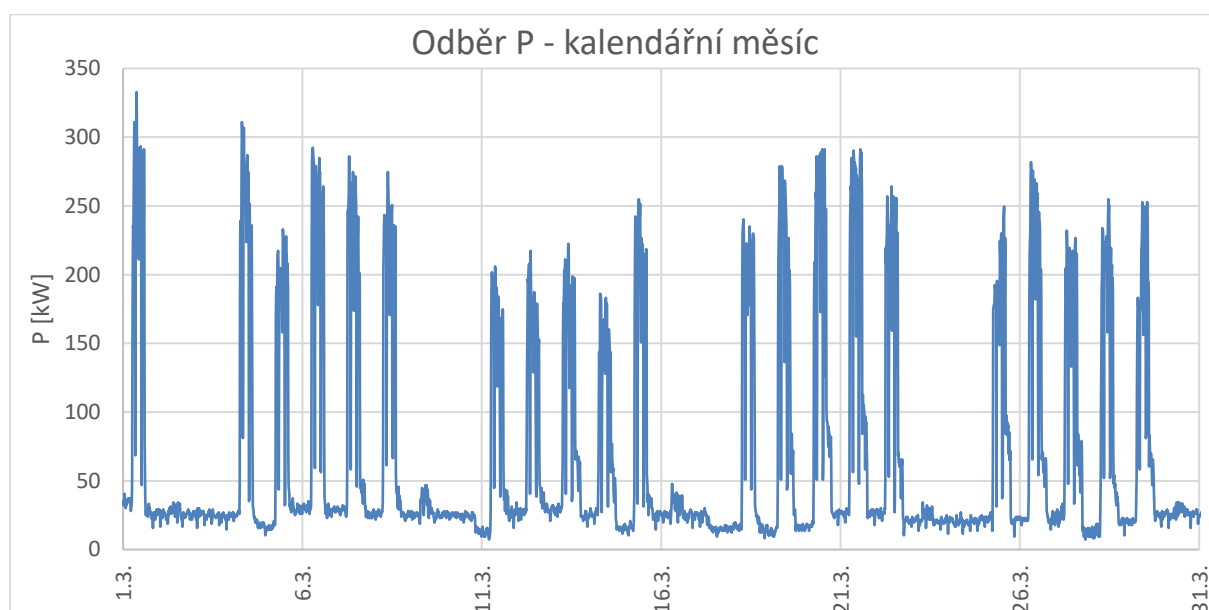
Fotovoltaická elektrárna nevyrábí v nočních hodinách žádnou energii, protože nedochází k osvitu panelů slunečním zářením.

5.2.3 Analýza naměřených hodnot okolních odběrných míst

Poblíž výše uvedené fotovoltaické elektrárny jsou připojena odběrná místa, u kterých je provedena shodná analýza naměřených hodnot. Záměrně byla zvolena odběrná místa s různým charakterem odběru a s různým provedením měřicího systému.

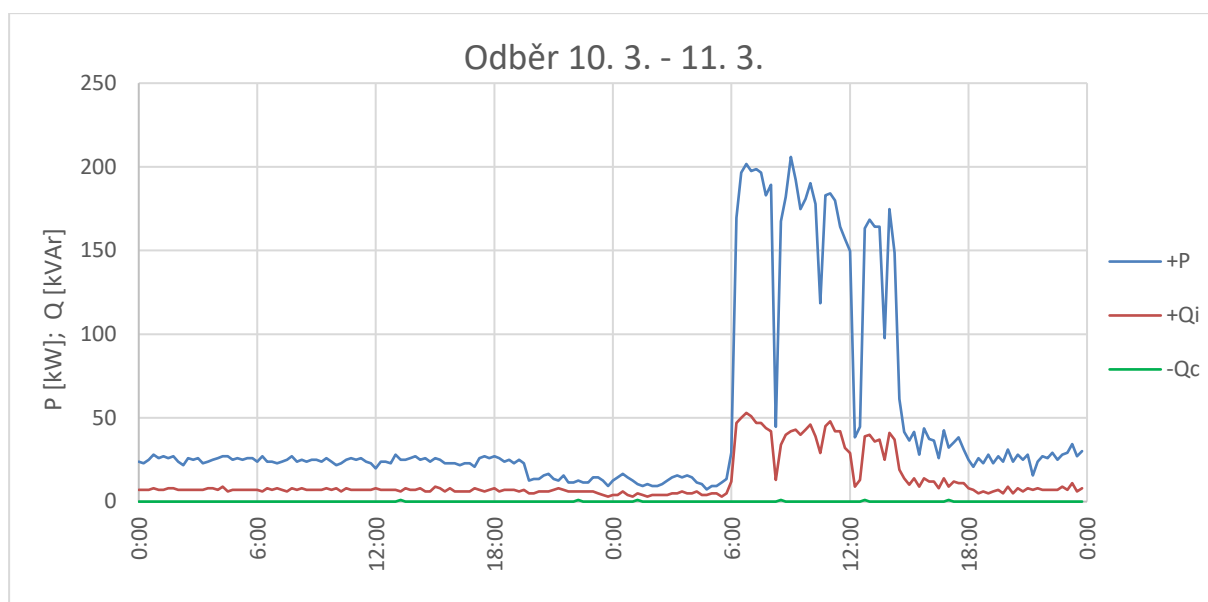
5.2.3.1 Odběr měřený měřicím systémem umístěným na sekundární straně transformátoru

Do analýzy bylo zahrnuto další odběrné místo připojené z hladiny VN. Toto odběrné místo je měřeno na sekundární straně silového transformátoru, měřicí systém je v zapojení pomocí tří MTP. Dosahovaná čtvrt hodinová maxima činného výkonu jsou po celou dobu vyvážená, nepřekračují hodnoty 350 kW. Toto odběrné místo je dále v textu označeno jako B2.

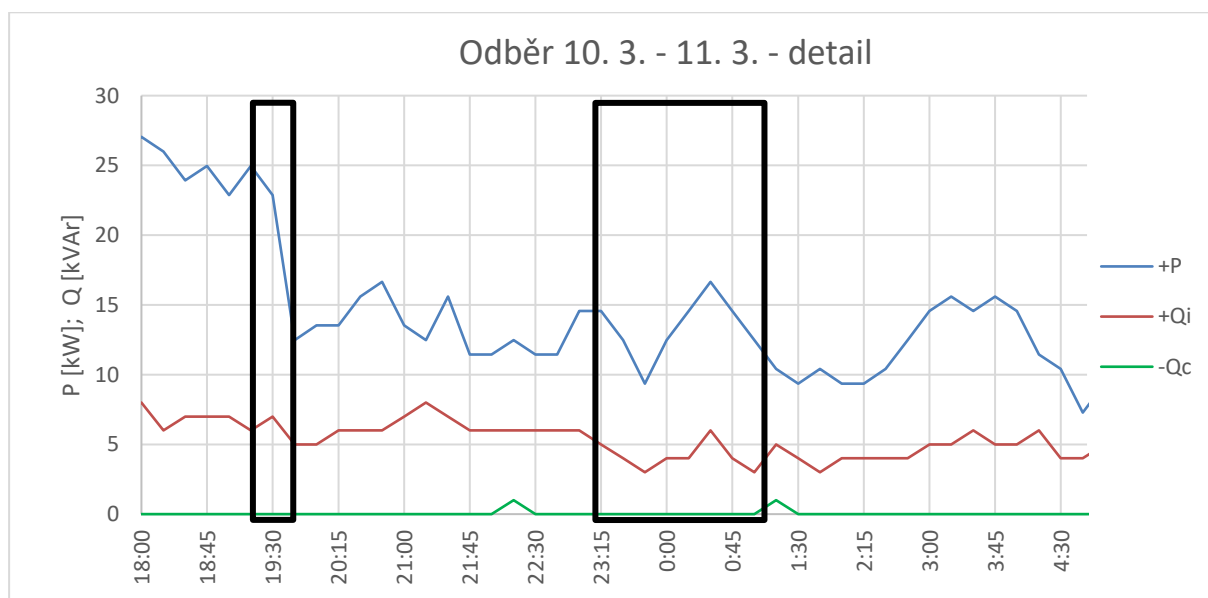


Obr. 48 Měsíční průběh odebraného činného výkonu odběrného místa B2

Dle naměřených maximálních čtvrt hodinových hodnot činného výkonu nelze pozorovat ve sledovaném období žádné anomálie. Odběr je dle grafického znázornění vyvážený. Lze vypořadovat zvýšený odběr v pracovních dnech, v nočních hodinách a ve dnech pracovního klidu je odběr na úrovni provozního technického minima.



Obr. 49 Dvoudenní průběh při odběru činného výkonu místa B2

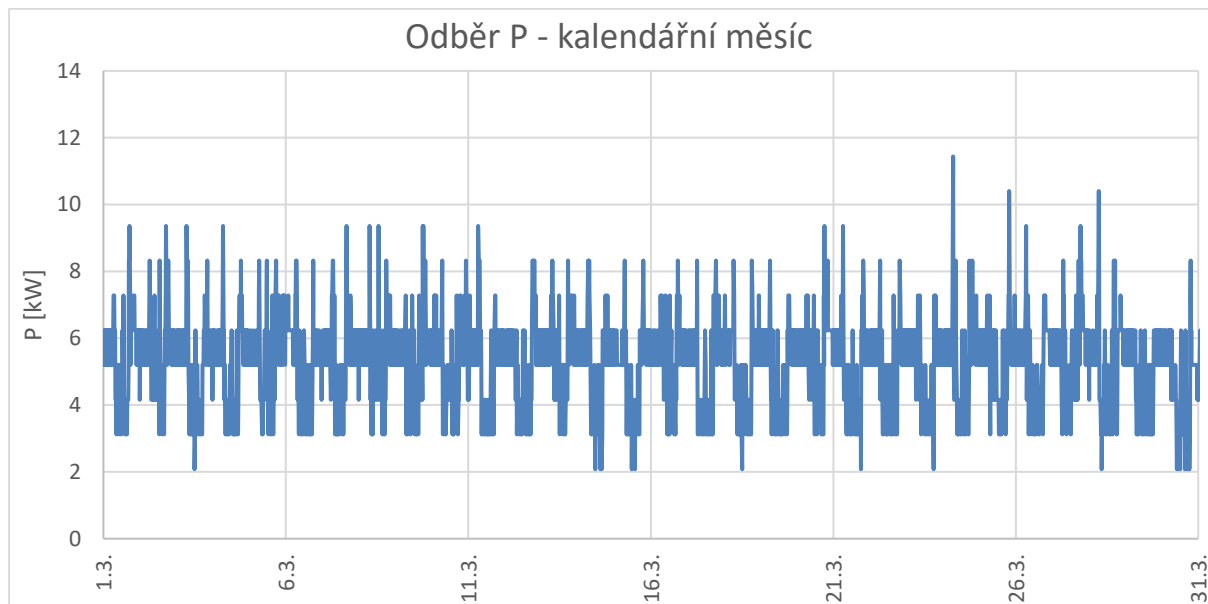


Obr. 50 Průběh při odběru činného výkonu místa B2 s vyznačenou dobou zemního spojení

V detailním grafickém zobrazení naměřených dat není zjevná žádná naměřená anomálie. Z naměřeného průběhu lze usoudit, že zemní spojení nemělo vliv na naměřené údaje.

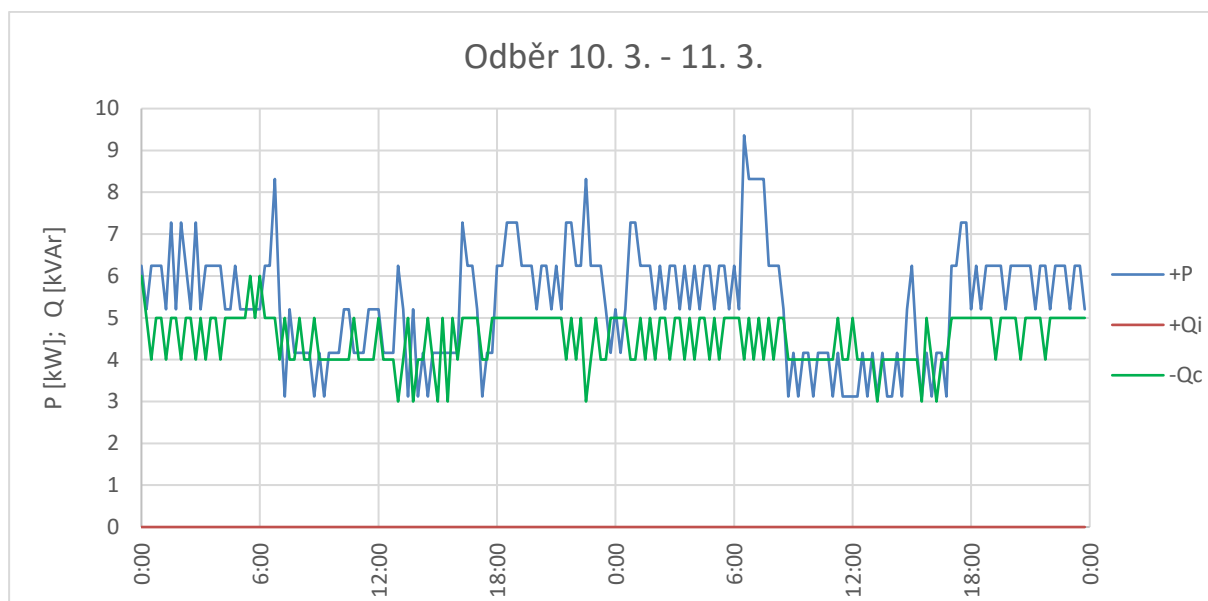
5.2.3.1 Odběr měřený měřicí soupravou umístěnou na sekundární straně transformátoru

Do analýzy bylo zahrnuto další odběrné místo připojené z hladiny VN. Toto odběrné místo je měřeno na sekundární straně silového transformátoru, měřicí systém je v zapojení pomocí tří MTP. Dosahovaná čtvrt hodinová maxima činného výkonu jsou po celou dobu vyvážená, nepřekračují hodnoty 12 kW. Toto odběrné místo je dále v textu označeno jako B3.

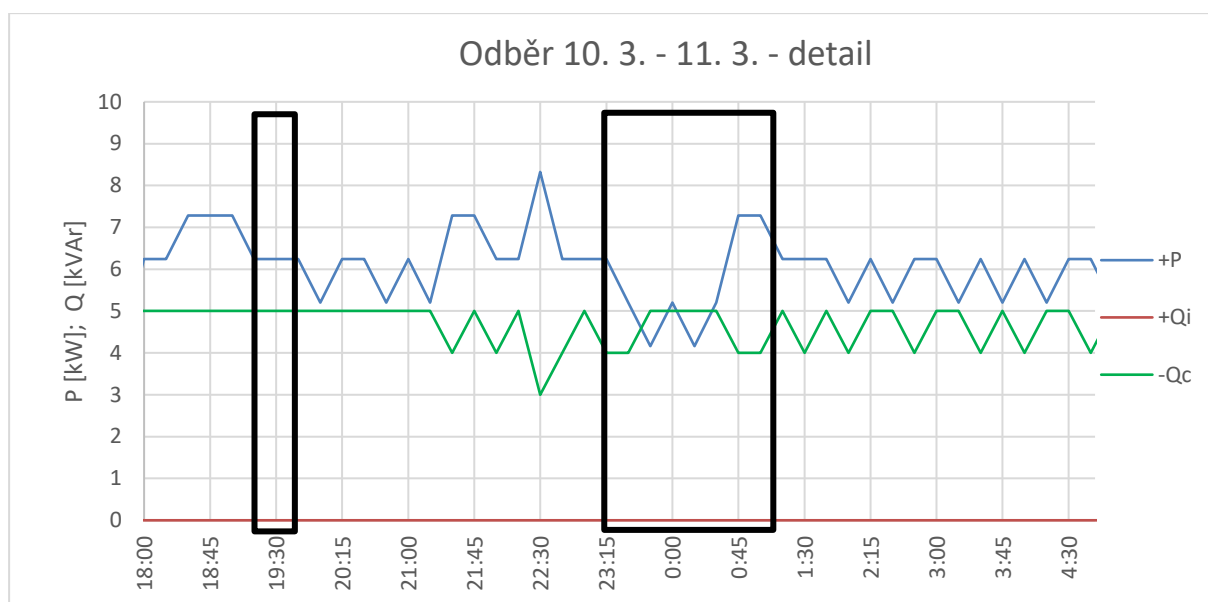


Obr. 51 Měsíční průběh odebraného činného výkonu odběrného místa B3

Dle naměřených maximálních čtvrt hodinových hodnot činného výkonu nelze pozorovat ve sledovaném období žádné anomálie. Odběr je dle grafického znázornění vyvážený.



Obr. 52 Dvoudenní průběh při odběru činného výkonu místa B3



Obr. 53 Průběh při odběru činného výkonu místa B3 s vyznačenou dobou zemního spojení

V detailním grafickém zobrazení naměřených dat není zjevná žádná naměřená anomálie. Z naměřeného průběhu lze usoudit, že zemní spojení nemělo vliv na naměřené údaje.

5.2.4 Závěr analýzy případu B

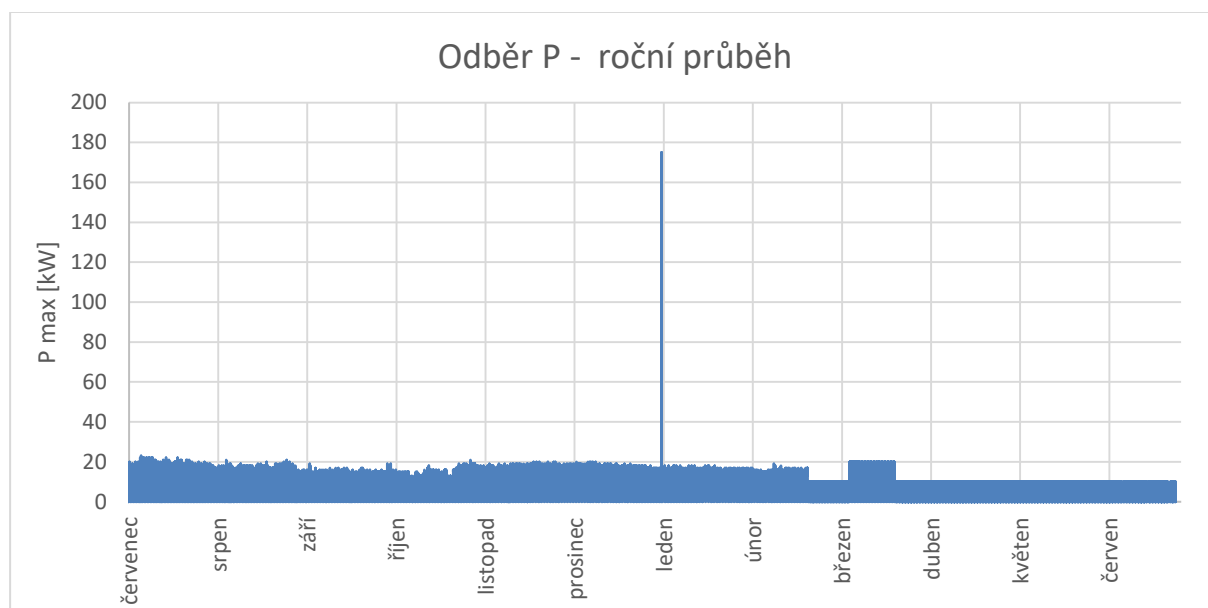
- 1) Při potvrzeném zemním spojení nebyla u odběrných míst bez výroby zjištěna žádná anomálie. Nedošlo k žádným špičkám v dosažených čtvrt hodinových maximech činného výkonu.
- 2) Pouze u výroby došlo vlivem poruchového stavu ke změně. Měřicí systém zaznamenal v inkriminované čtvrt hodině špičku odebíraného činného výkonu představující téměř sedminásobek běžně dosahovaných hodnot čtvrt hodinového maxima.
- 3) Dosažený elektrický výkon nemohl být spotřebován spotřebiči v odběrném místě. Nejsou zde instalované žádné spotřebiče, které by takové množství elektrického výkonu mohly odebrat.
- 4) Přejít z generátorického do motorického režimu je u fotovoltaické elektrárny nemožný.
- 5) Zajímavým výstupem z měření místa B1 je dodávka jalového výkonu kapacitního charakteru, která se objevuje v hodinových pulzech při odběru činného výkonu.

5.3 Příklad C

V odběrném a předávacím místě je připojena fotovoltaická elektrárna s celkovým instalovaným výkonem okolo 4 MW. Jedná se o statický generátor. Odběrné a předávací místo má vzhledem k instalovanému výkonu primárně charakter dodávky činného výkonu do DS. Toto odběrné místo je dále v textu označeno jako C1. Výrobce rozporuje naměřená data fakturačním elektroměrem, konkrétně naměřená maxima odebíraného čtvrt hodinového činného výkonu. Dosažená maxima odběru výrobce zpochybňuje z níže popsanych důvodů

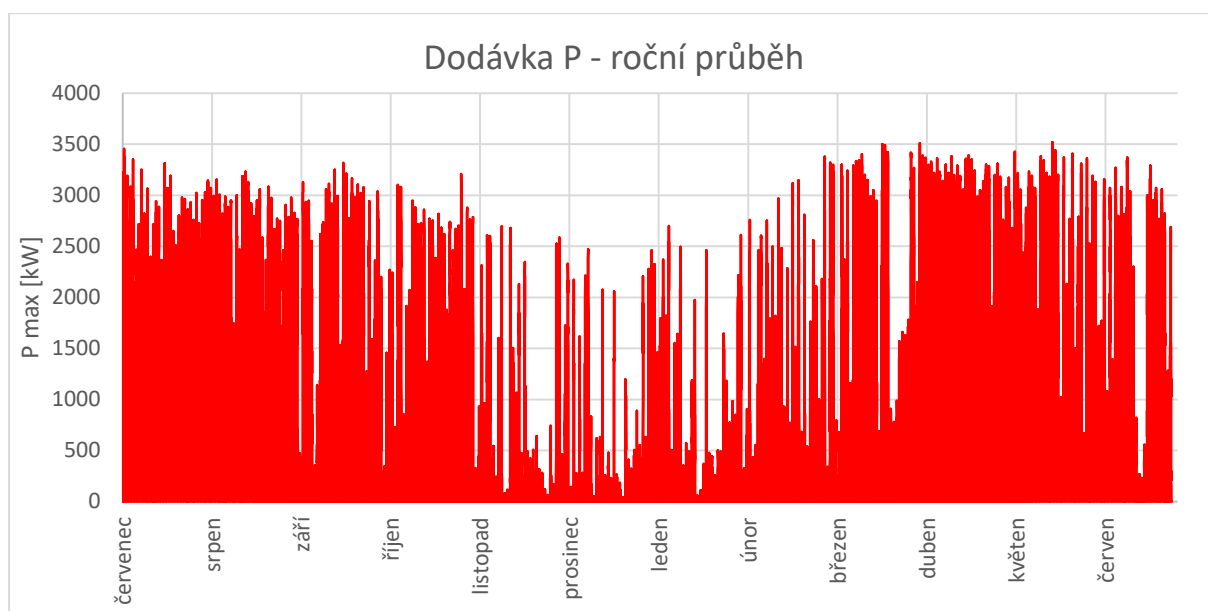
- součet instalovaných příkonů odběrných zařízení je výrazně nižší než naměřené čtvrt hodinové maximum odebíraného výkonu
- výrobce má monitorovací zařízení, ze kterého vyvozuje poruchový stav DS v době naměřeného čtvrt hodinového maxima.

Výrobce poskytl naměřená data ze svého monitorovacího zařízení, které má instalované ve své rozvodně VN. Data z monitorovacího zařízení obsahují průběhy napětí ve všech třech fázích. Zároveň výrobce poskytl naměřené údaje z fakturačního elektroměru, který je instalován taktéž rozvodně VN. Získaná data z fakturačního elektroměru obsahují čtvrt hodinová maxima dodávky a odběru činného i jalového výkonu. Měřicí systém fakturačního elektroměru je připojen dle platných připojovacích podmínek v Aronově zapojení. MT fakturačního měření jsou instalované v zapouzdřené rozvodně VN. Nebylo možné ověřit, ve kterých fázích jsou zapojené MTP.



Obr. 54 Roční průběh odebraného činného výkonu odběrného místa C1

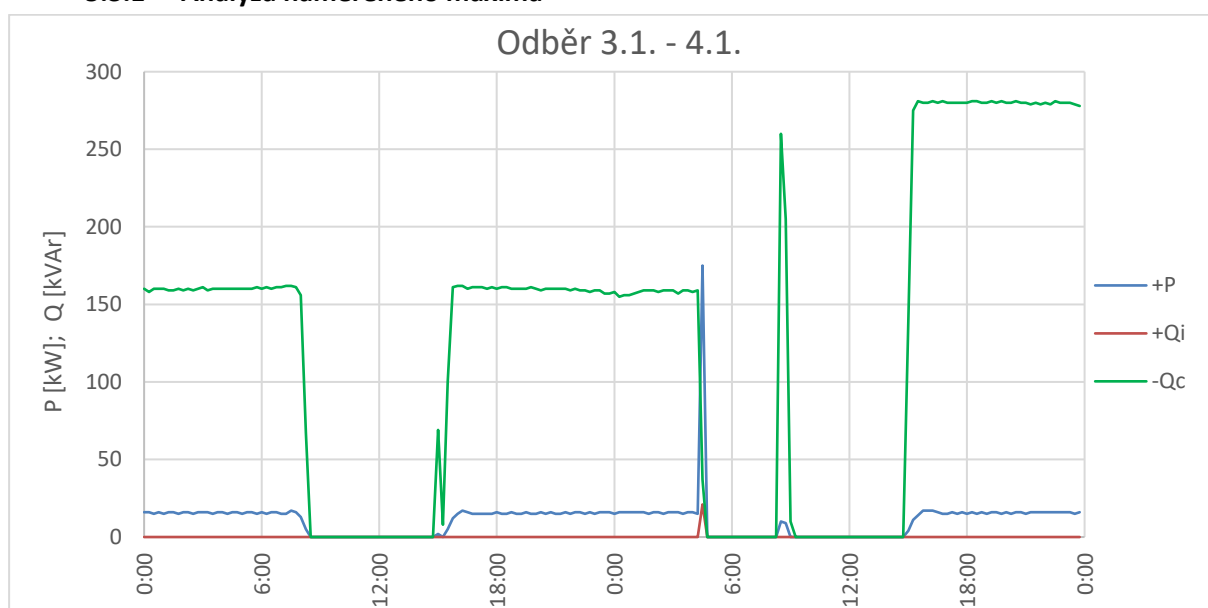
Graf znázorňuje naměřená čtvrt hodinová maxima odebíraného činného výkonu po dobu jednoho roku. Z grafu lze vyčíst ojedinělou špičku, která byla dosažena přibližně v první polovině ledna. Tato špička téměř devítinásobně překračuje hodnoty průměrně dosahovaného výkonu.



Obr. 55 Roční průběh dodaného činného výkonu odběrného místa C1

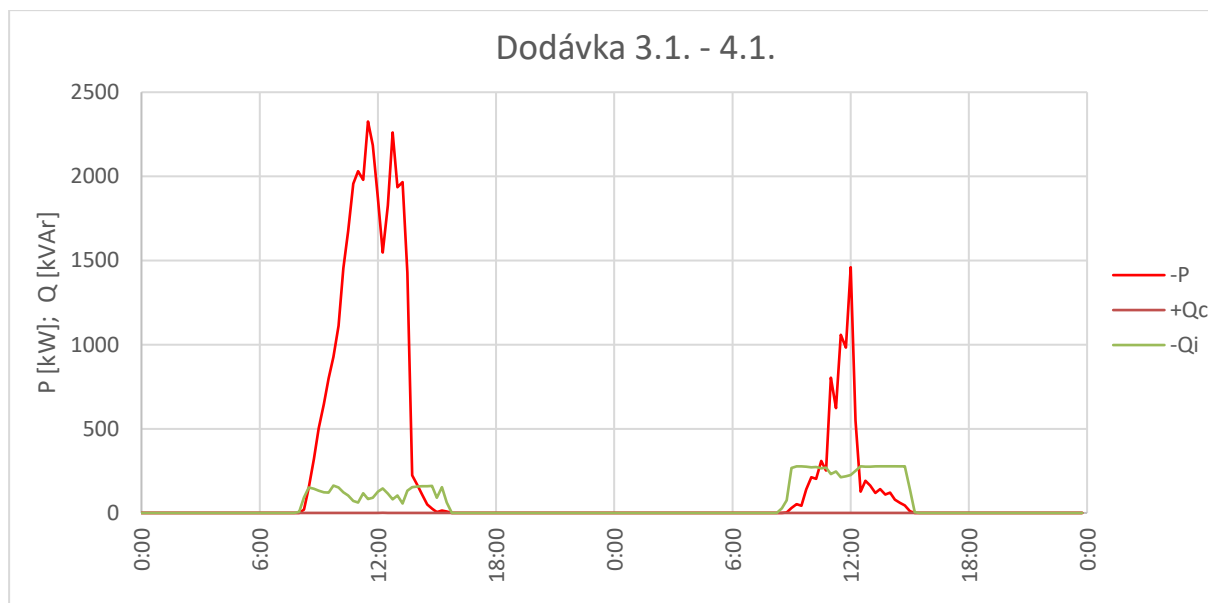
Graf znázorňuje naměřená čtvrt hodinová maxima dodaného činného výkonu po dobu jednoho roku. Z grafu lze odečíst standardní dosahované hodnoty 3,5 MW, nejsou pozorovatelné anomálie při dodávce činné energie.

5.3.1 Analýza naměřeného maxima



Obr. 56 Dvoudenní průběh při odběru činného výkonu místa C1

V obr. 56 je vykreslen dvoudenní průběh při odběru činného výkonu. Dle naměřených dat došlo ke zvýšení čtvrt hodinového maxima činného výkonu pouze krátkodobě. Po většinu sledovaného období dosahuje odebíraný činný výkon mnohem menších hodnot čtvrt hodinového maxima.

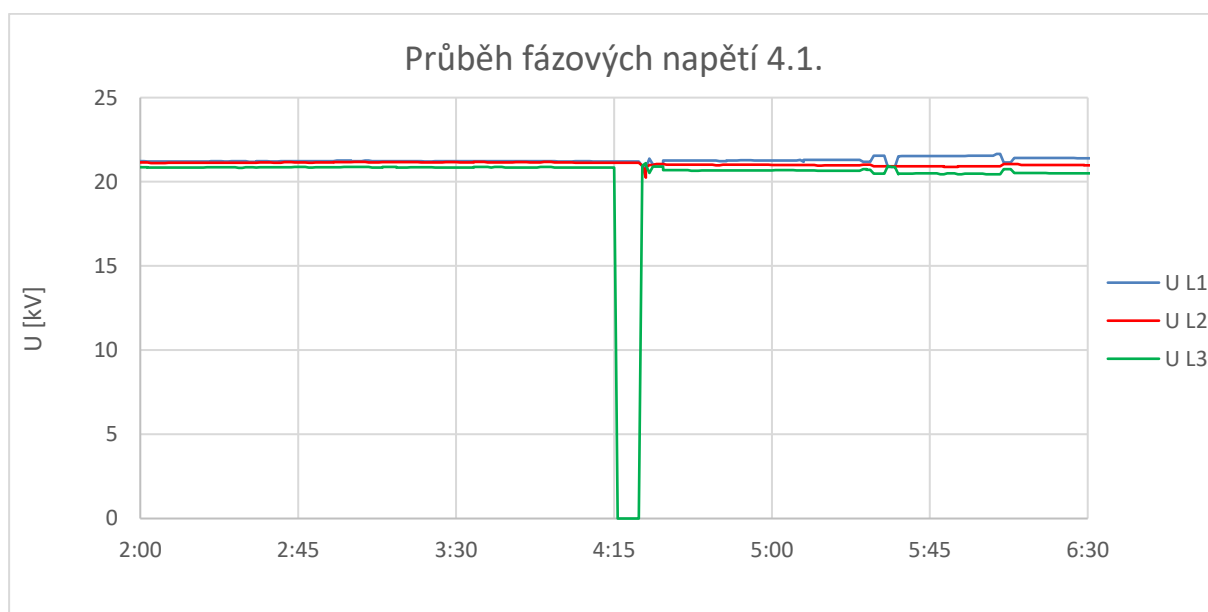


Obr. 57 Dvoudenní průběh při dodávce činného výkonu místa C1

V obr. 57 je vykreslen dvoudenní průběh při dodávce činného výkonu. Není zde žádná souvislost s naměřeným čtvrt hodinovým maximem odebíraného činného výkonu.

5.3.2 Analýza naměřených dat ze dne 4. 1.

Pro detailnější analýzu bylo provedeno vykreslení grafů odběru a dodávky činného výkonu současně s jalovým výkonem z příslušných kvadrantů. V detailních grafech je zvýrazněn tmavým obdélníkem čas poruchy, který je identifikován z naměřených dat ze rozvodny VN.

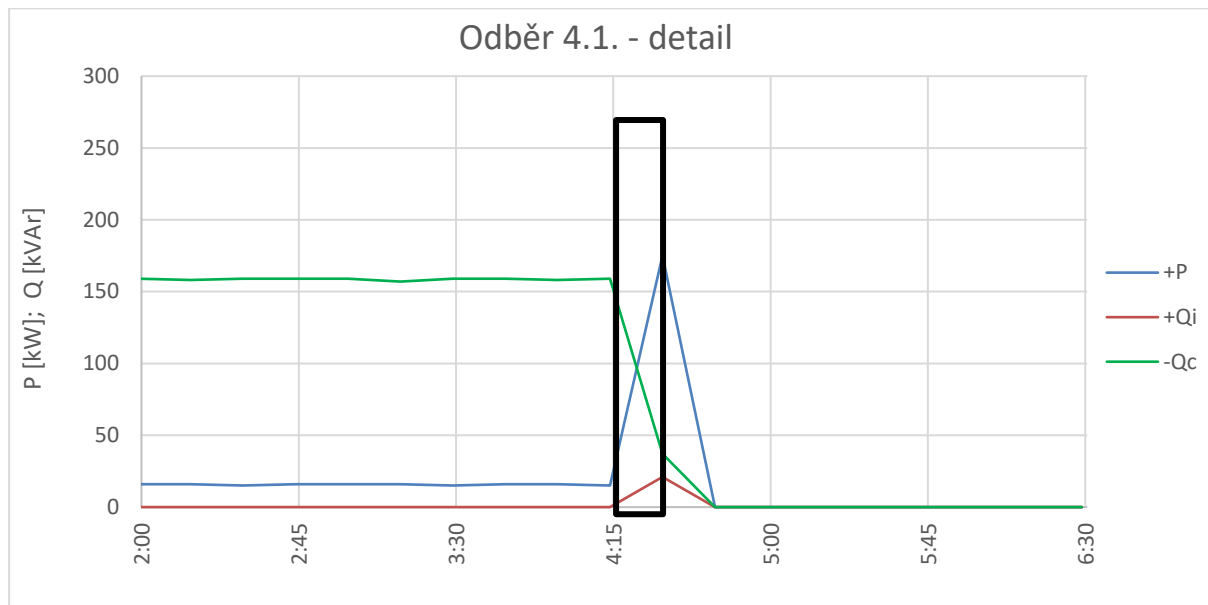


Obr. 58 Průběh fázových napětí místa C1

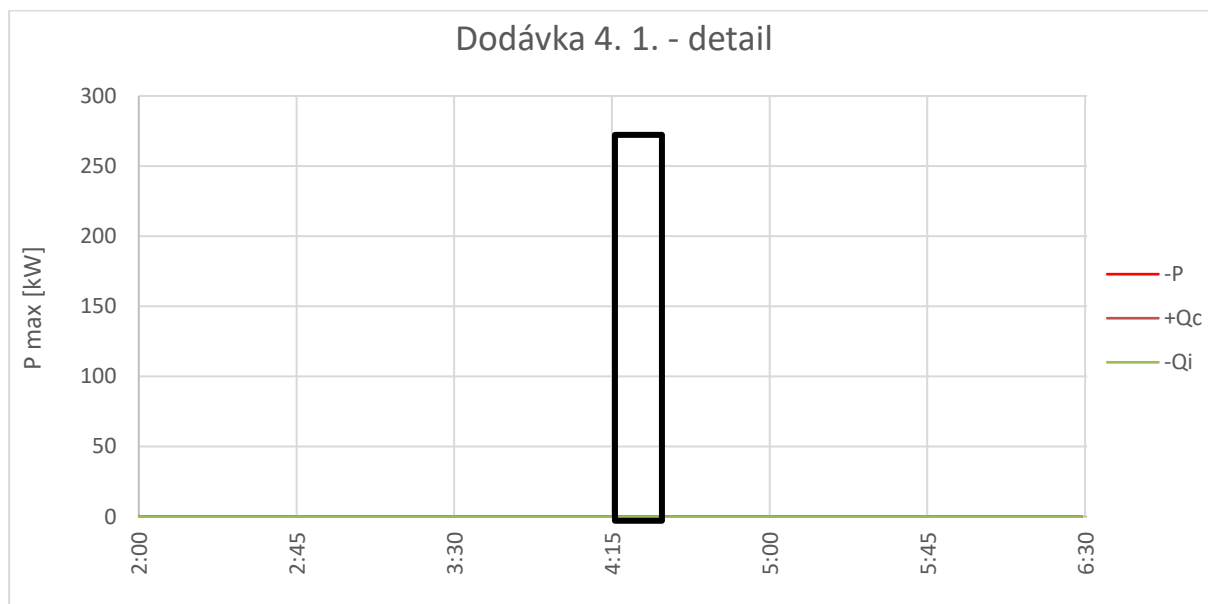
Na obr. 58 jsou graficky znázorněné naměřené údaje fázových napětí získaných z monitorovacího zařízení instalovaného v rozvodně VN. V čase po 4. hodině dochází k rozkolísání fázových napětí. Toto rozkolísání odpovídá zemnímu spojení. Hodnota napětí postižené fáze klesá,

přičemž hodnoty napětí nepostižených fází jsou beze změny. U PDS je ověřen poruchový stav spočívající v zemním spojení. Důvod, proč nerostou napětí nepostižených fází, je možná chyba ve výpadku kontinuálního měření monitorovacího zařízení.

Na obr. 59 a 60 jsou zobrazeny detaily průběhů výkonů v době zemního spojení.



Obr. 59 Průběh při odběru činného výkonu místa C1 s vyznačenou dobou zemního spojení



Obr. 60 Průběh při dodávce činného výkonu místa C1 s vyznačenou dobou zemního spojení

Dle obr. 59 lze vysledovat skokové změny modré křivky představující odběr čtvrt hodinového činného výkonu z DS. Špička dosahuje až devítinásobku hodnoty oproti běžnému provozu. Po odeznění zemního spojení se odebíraný výkon ustálí na hodnotě technického minima. Zajímavým poznatkem jsou velké hodnoty dodávaného jalového výkonu. Zdrojem jalového výkonu jsou měniče nebo porucha na kompenzační tlumivce. Dle obr. 60 lze vysledovat nulovou dodávku výkonu do DS. Fotovoltaická

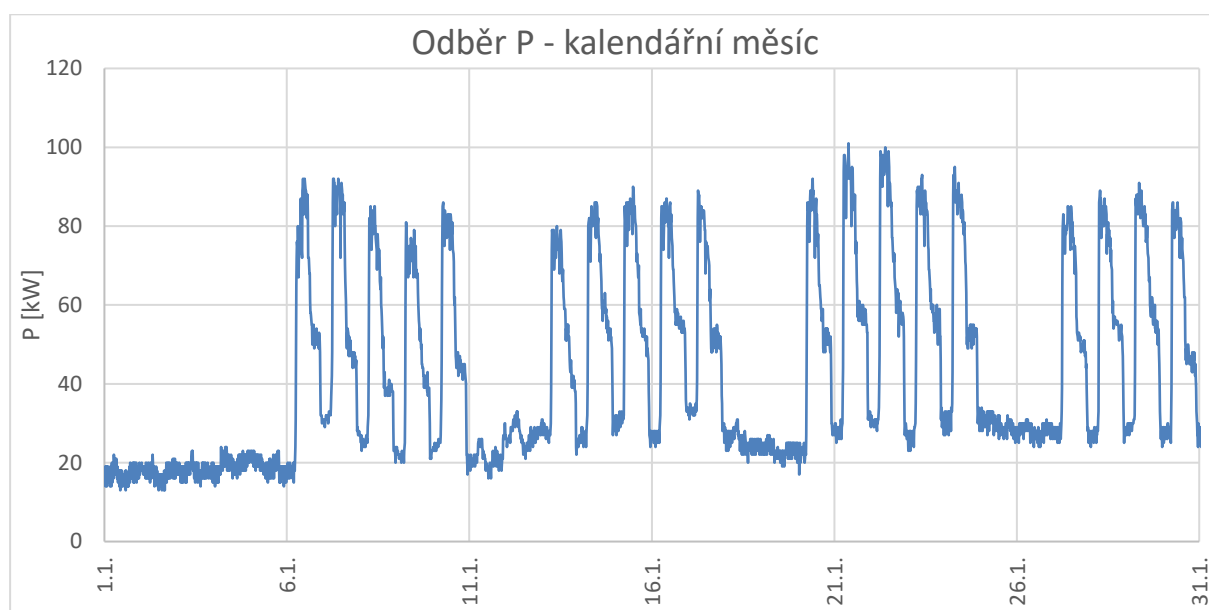
elektrárna nevyrábí v nočních hodinách žádnou energii, protože nedochází k osvitů panelů slunečním zářením.

5.3.3 Analýza naměřených hodnot okolních odběrných míst

Poblíž výše uvedené fotovoltaické elektrárny jsou připojena odběrná místa, u kterých je provedena shodná analýza naměřených hodnot. Záměrně byla zvolena odběrná místa s různým charakterem odběru a s různým provedením měřicího systému.

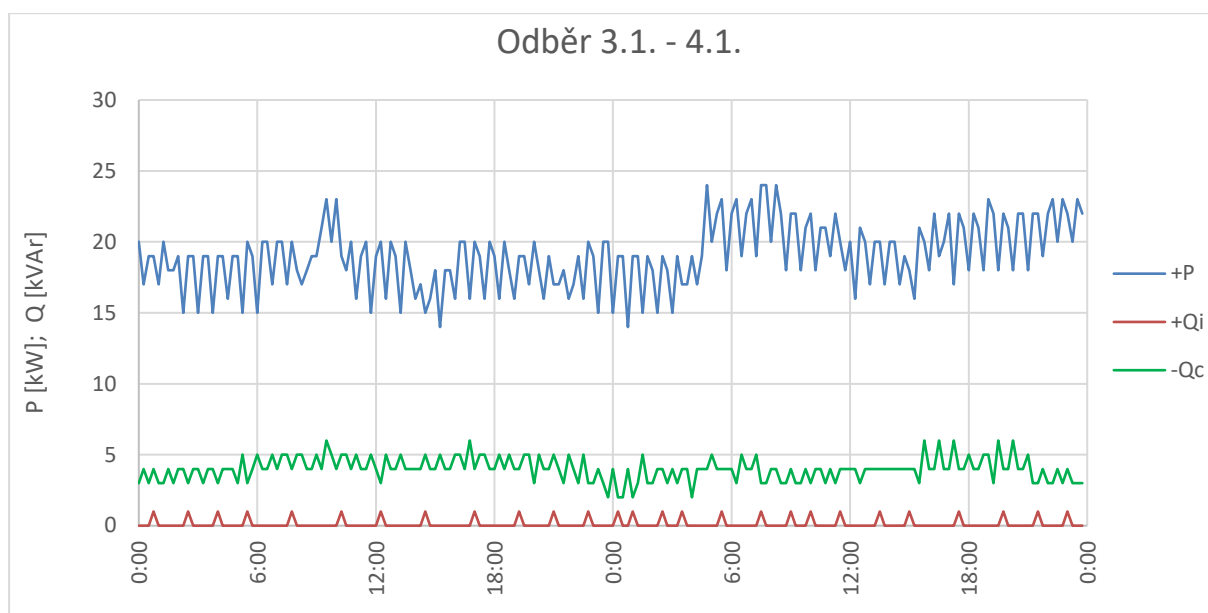
5.3.3.1 Odběr měřený měřicím systémem v Aronově zapojení

Do analýzy bylo zahrnuto odběrné místo připojené z hladiny VN. Toto odběrné místo je měřeno na primární straně silového transformátoru, měřicí systém je v provedení Aronova zapojení. Dosahovaná čtvrt hodinová maxima činného výkonu jsou po celou dobu vyvážená, nepřekračují hodnoty 100 kW. Toto odběrné místo je dále v textu označeno jako C2.

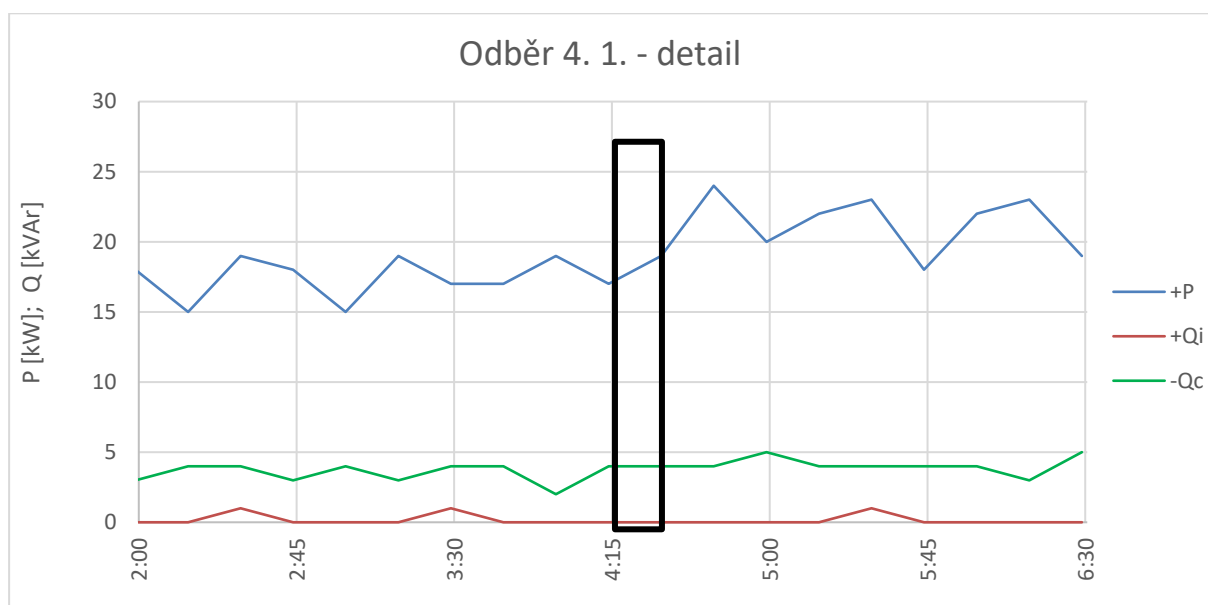


Obr. 61 Měsíční průběh odebraného činného výkonu odběrného místa C2

Dle naměřených maximálních čtvrt hodinových hodnot činného výkonu nelze pozorovat ve sledovaném období žádné anomálie. Odběr je dle grafického znázornění vyvážený. Lze vypořádat zvýšený odběr v pracovních dnech, v nočních hodinách a ve dnech pracovního klidu je odběr na úrovni provozního technického minima.



Obr. 62 Dvoudenní průběh při odběru činného výkonu místa C2

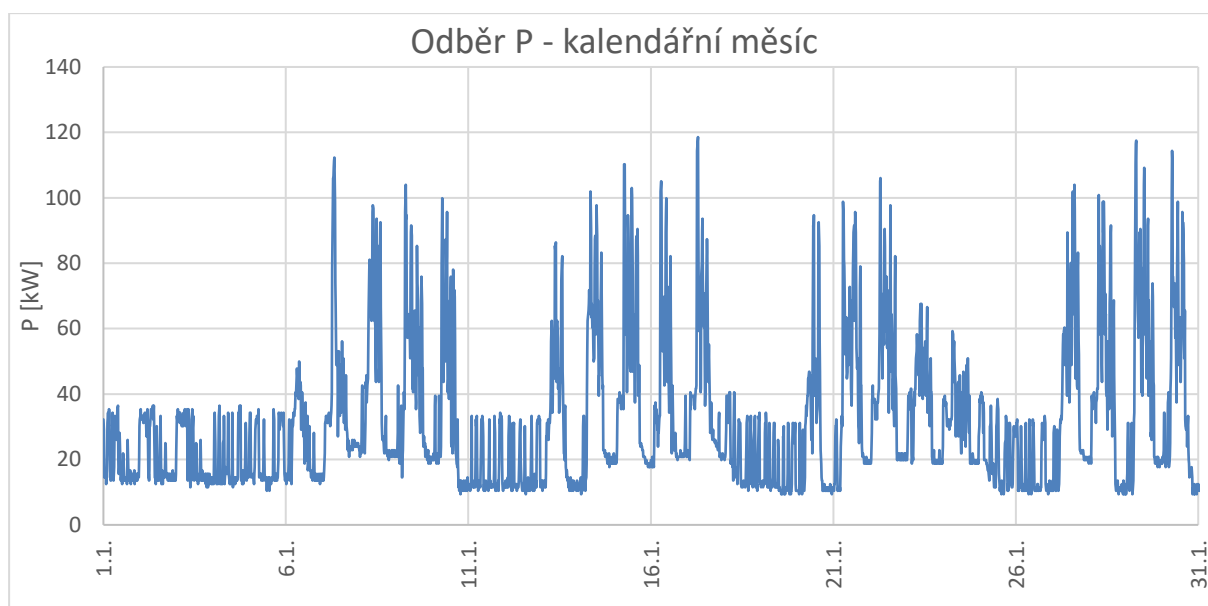


Obr. 63 Průběh při odběru činného výkonu místa C2 s vyznačenou dobou zemního spojení

V detailním grafickém zobrazení naměřených dat není zjevná žádná anomálie. Z naměřeného průběhu lze usoudit, že zemní spojení nemělo vliv na naměřené údaje.

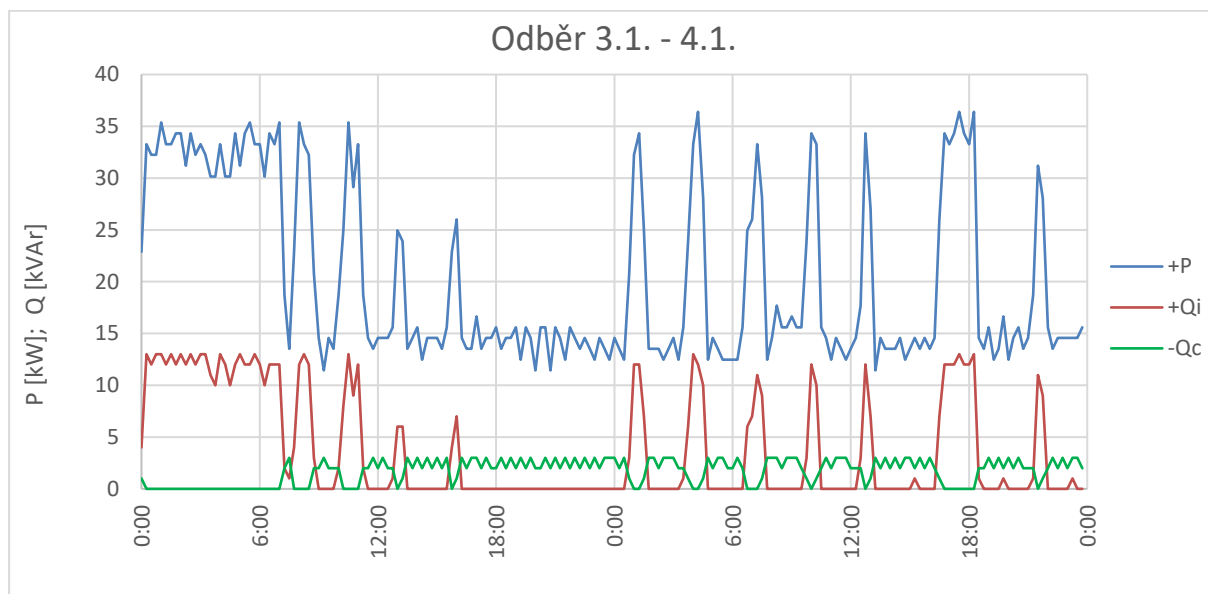
5.3.3.2 Odběr měřený měřicím systémem umístěným na sekundární straně transformátoru

Do analýzy bylo zahrnuto další odběrné místo připojené z hladiny VN. Toto odběrné místo je měřeno na sekundární straně silového transformátoru, měřicí systém je v zapojení pomocí tří MTP. Dosahovaná čtvrt hodinová maxima činného výkonu jsou po celou dobu vyvážená, nepřekračují hodnoty 120 kW. Toto odběrné místo je dále v textu označeno jako C3.

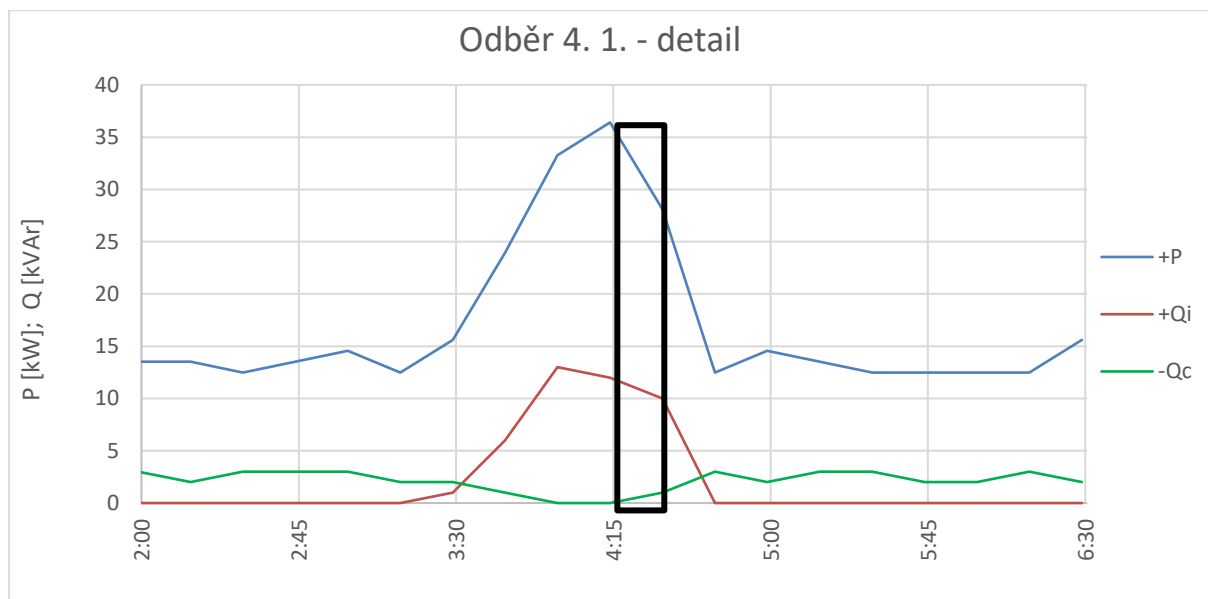


Obr. 64 Měsíční průběh odebraného činného výkonu odběrného místa C3

Dle naměřených maximálních čtvrt hodinových hodnot činného výkonu nelze pozorovat ve sledovaném období žádné anomálie. Odběr je dle grafického znázornění vyvážený. Lze vypořizovat zvýšený odběr v pracovních dnech, naopak v nočních hodinách a ve dnech pracovního klidu je odběr na úrovni provozního technického minima.



Obr. 65 Dvoudenní průběh při odběru činného výkonu místa C3



Obr. 66 Průběh při odběru činného výkonu místa C3 s vyznačenou dobou zemního spojení

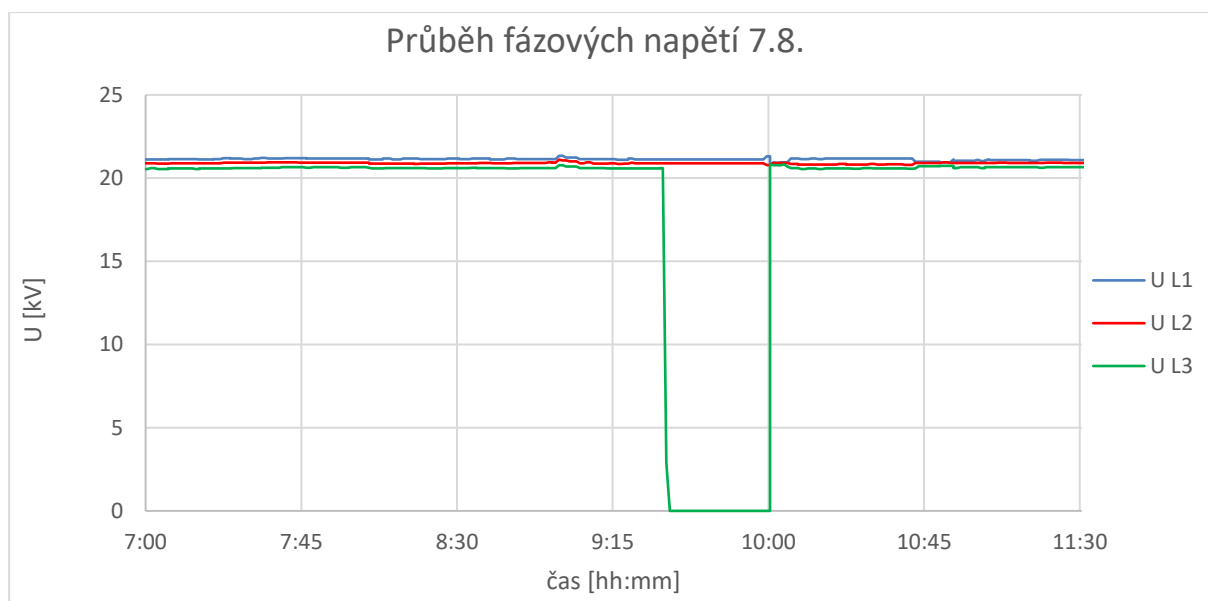
V detailním grafickém zobrazení naměřených dat není zjevná žádná naměřená anomálie. Z naměřeného průběhu lze usoudit, že zemní spojení nemělo vliv na naměřené údaje.

5.3.4 Analýza poruchového stavu

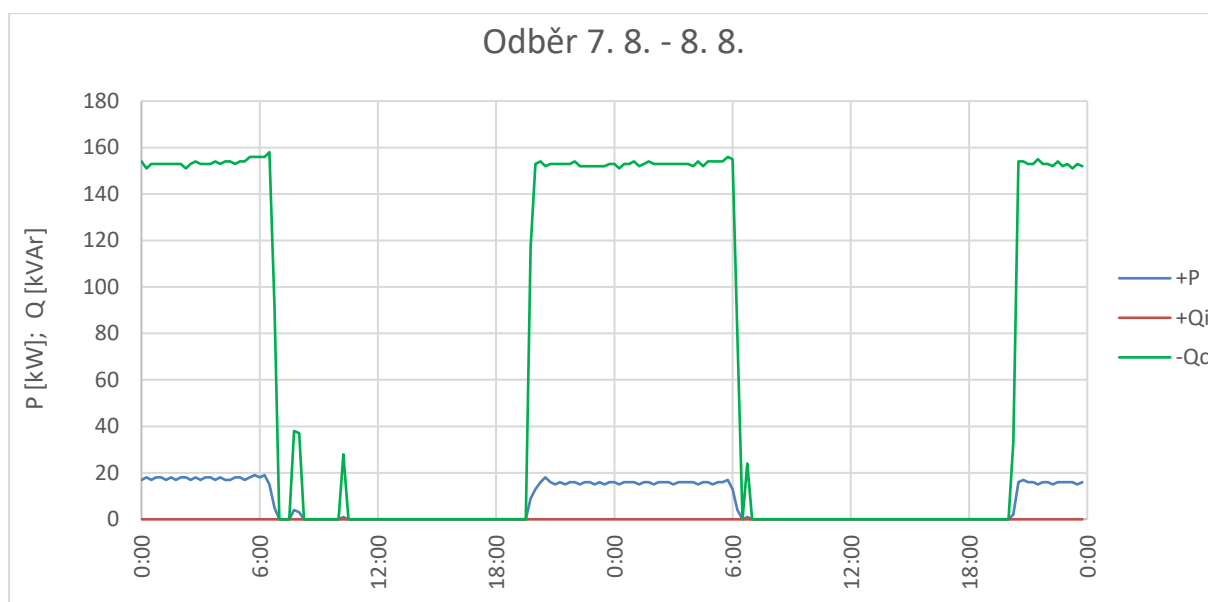
U odběrného místa C1 s měřicím systémem v Aronově zapojení, byla provedena opačná analýza. Dle naměřených průběhů fázových napětí monitorovacího zařízení, byla nalezena porucha v DS odpovídající zemnímu spojení.

5.3.4.1 Poruchový stav v Aronově zapojení

Byl nalezen poruchový průběh ze dne 7.8., kdy opět došlo k zemnímu spojení. Následně byl sestrojen graf naměřených hodnot fakturačním elektroměrem, tyto údaje pak byly porovnány.



Obr. 67 Průběh fázových napětí místa C1 7. 8.

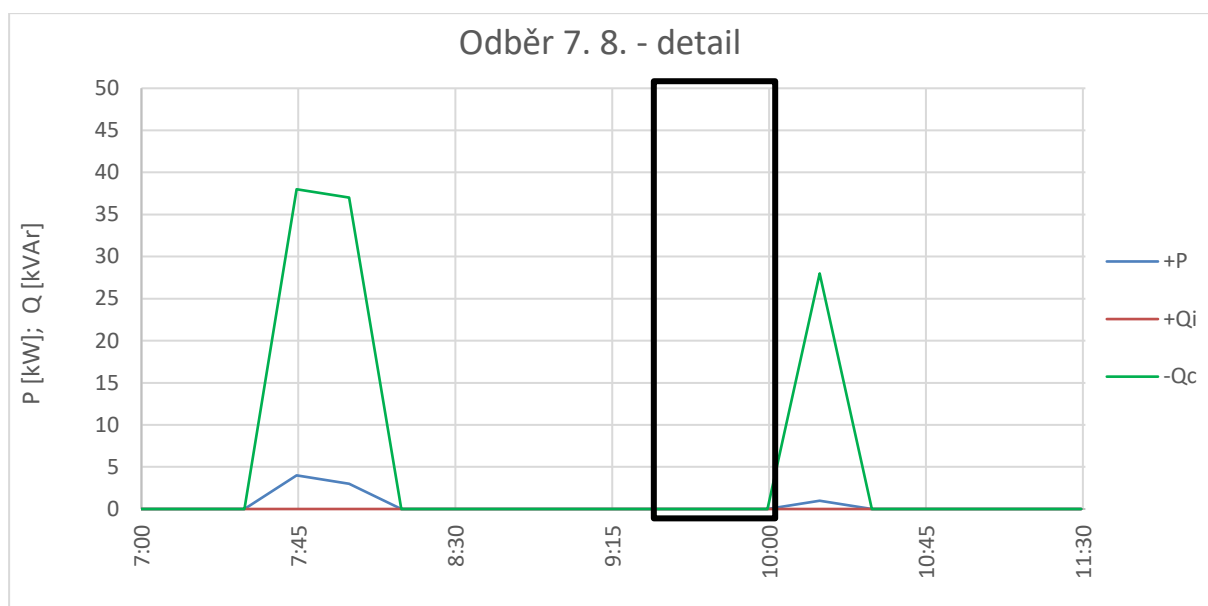


Obr. 68 Dvoudenní průběh při odběru činného výkonu místa C1 7.8. – 8.8.



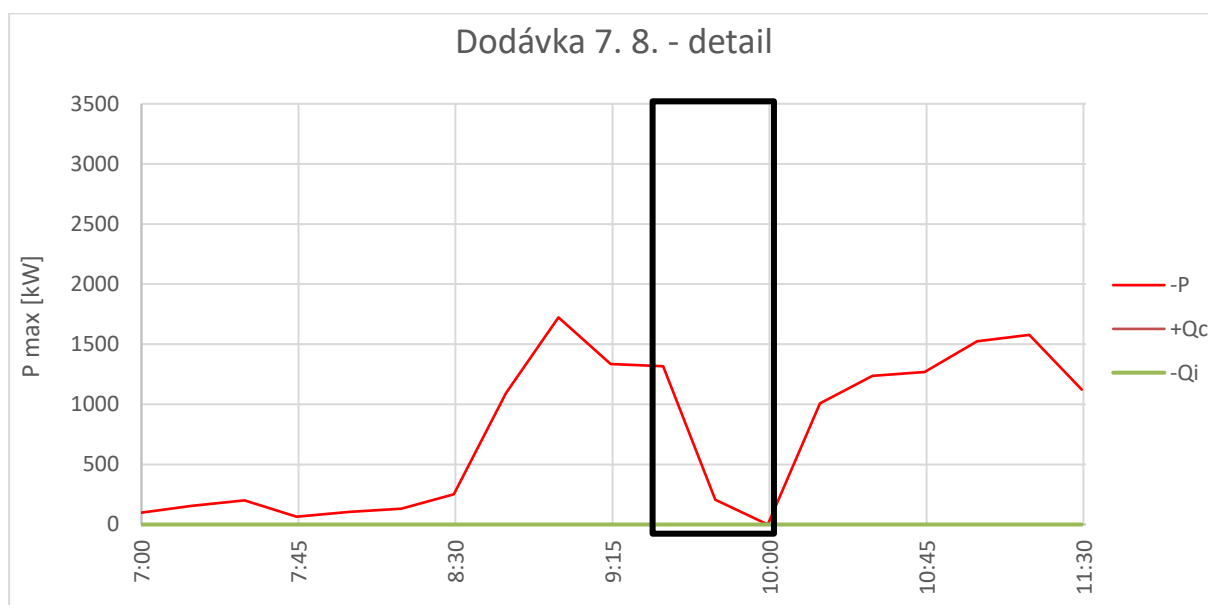
Obr. 69 Dvoudenní průběh při dodávce činného výkonu místa C1 7.8. – 8.8

Pro hlubší analýzu bylo provedeno vykreslení grafu odběru činného výkonu současně s jalovými výkony příslušného kvadrantu. Vykreslené grafy obsahují průběh výkonů před a po odeznění jevů spojené se zemním spojením. V detailních grafech je zvýrazněn tmavým obdélníkem čas poruchy, který je identifikován z naměřených dat ze vstupní rozvodny.



Obr. 70 Průběh při odběru činného výkonu místa C1 s vyznačenou dobou zemního spojení 7. 8.

V době zemního spojení lze z grafu vysledovat nulový odběr činného výkonu. V následující čtrthodině elektroměr vykázal maximální hodnotu činného výkonu 1 kW

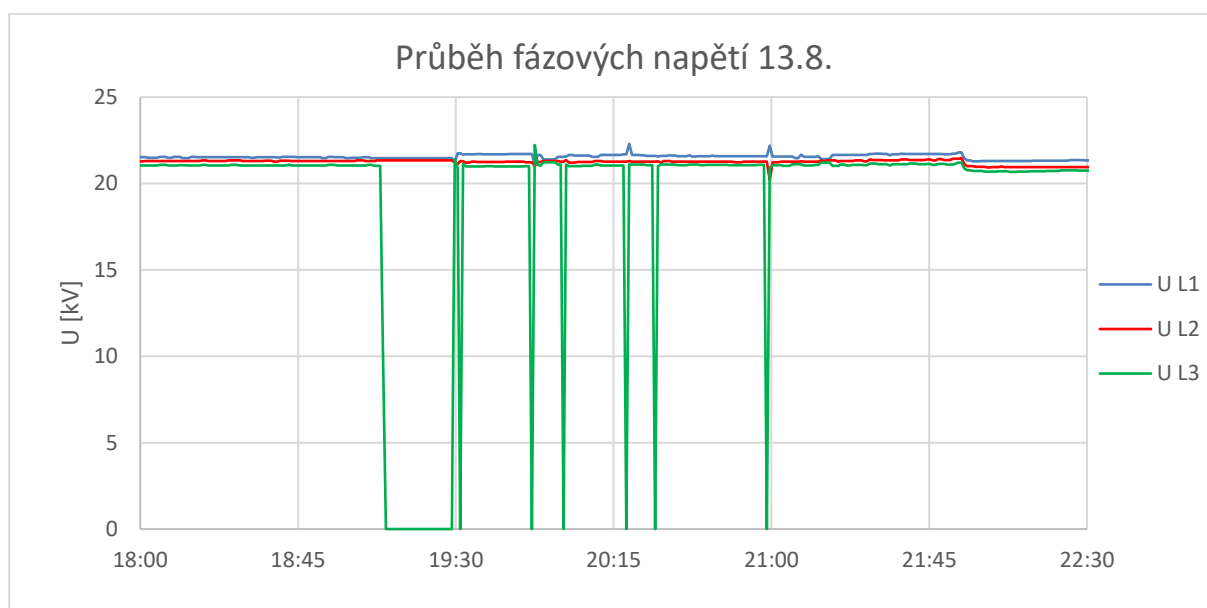


Obr. 71 Průběh při dodávce činného výkonu místa C1 s vyznačenou dobou zemního spojení 7. 8.

V době zemního spojení lze z grafu vysledovat klesající dodávku činného výkonu. Zřejmě tak působily ochrany, které mají, za určitých podmínek, odřazovat zdroj.

5.3.4.2 Poruchový stav v třísystémovém způsobu měření

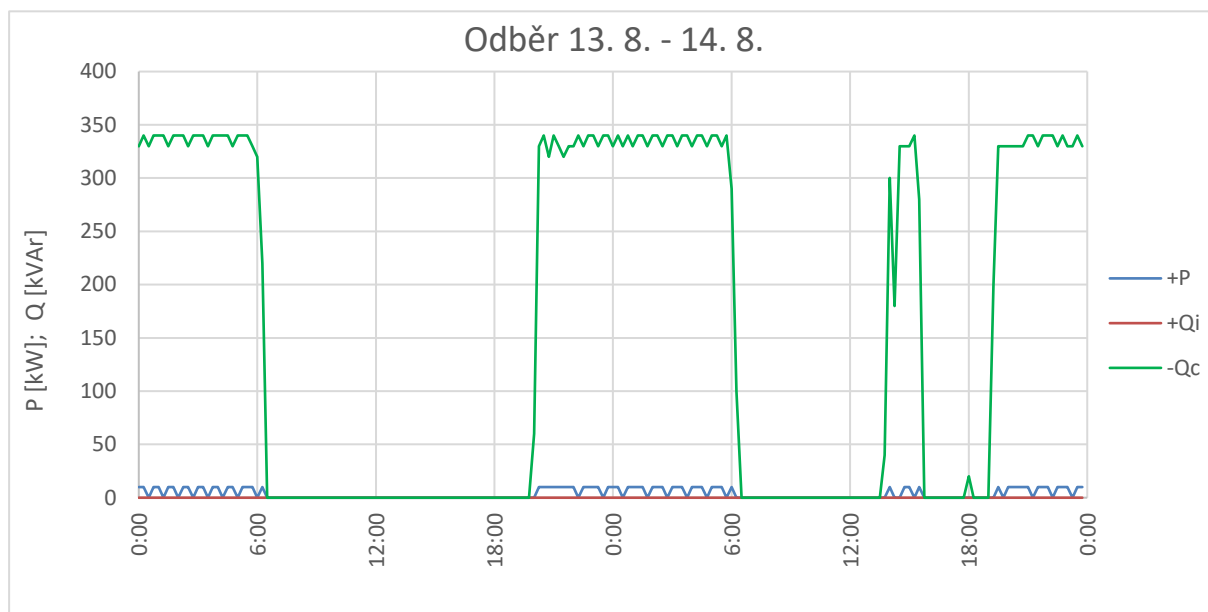
V průběhu následujícího kalendářního roku došlo ke změně způsobu zapojení měřicího systému. Původní zapojení měřicího systému (Aronovo zapojení) bylo upraveno a doplněno o třetí proudovou sondu. Zároveň s úpravou zapojení bylo nutné provést výměnu elektroměru, tím byla provedena změna způsobu měření na třísystémové. Od provedení této změny není při odběru ani dodávce čtvrt hodinového činného výkonu zaznamenána žádná špička. Dle údajů z monitorovacího zařízení byl zaznamenán okamžik, kdy došlo opětovně k zemnímu spojení, a to dne 13. 8. v čase od 19:10. Pro detailnější analýzu bylo provedeno vykreslení grafů odběru a dodávky činného výkonu současně s jalovými výkony příslušných kvadrantů. V detailních grafech je zvýrazněn tmavým obdélníkem čas poruchy, který je identifikován z naměřených dat ze rozvodny VN.



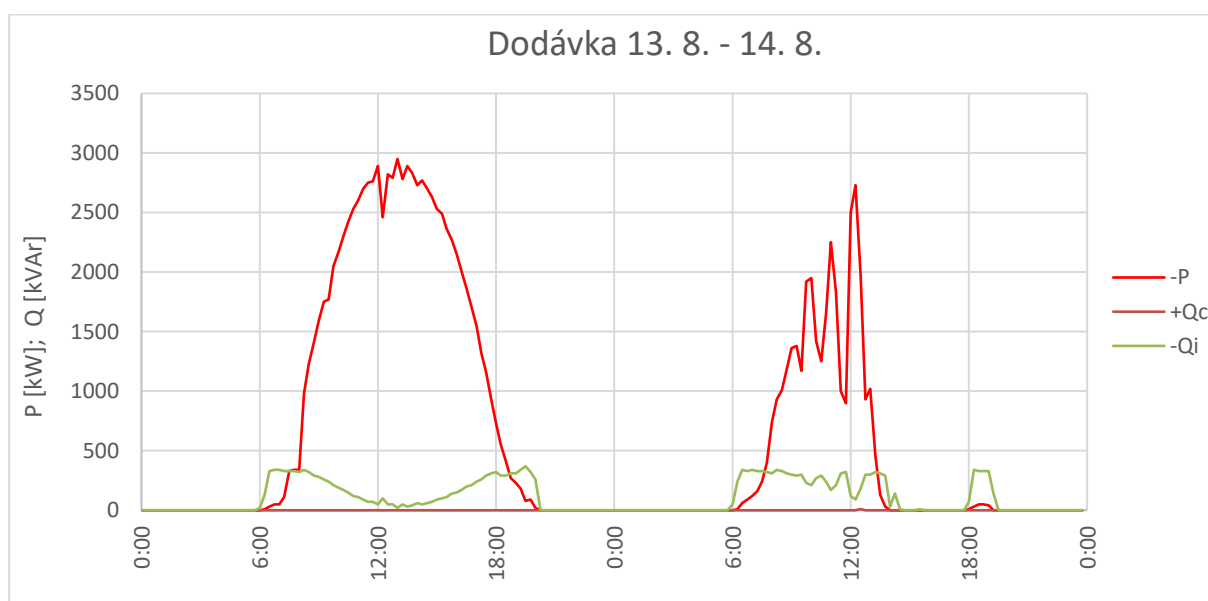
Obr. 72 Průběh fázových napětí místa C1, třísystémové měření

Na obr. 72 jsou graficky znázorněné naměřené údaje fázových napětí získaných z monitorovacího zařízení instalovaného v rozvodně VN. V čase po 19. hodině dochází k rozkolísání fázových napětí. Toto rozkolísání odpovídá zemnímu spojení. Hodnota napětí postižené fáze klesá, přičemž hodnoty nepostižených fází jsou beze změny. U PDS je ověřen poruchový stav spočívající v zemním spojení. Důvod, proč nerostou napětí nepostižených fází, je možná chyba ve výpadku kontinuálního měření monitorovacího zařízení. Dominantní čas poruchového stavu je v čase od 19:10 do 19:29. Následující průběh napětí odpovídá výpadkům při manipulacích na zařízení DS za účelem vymezení místa poruchy.

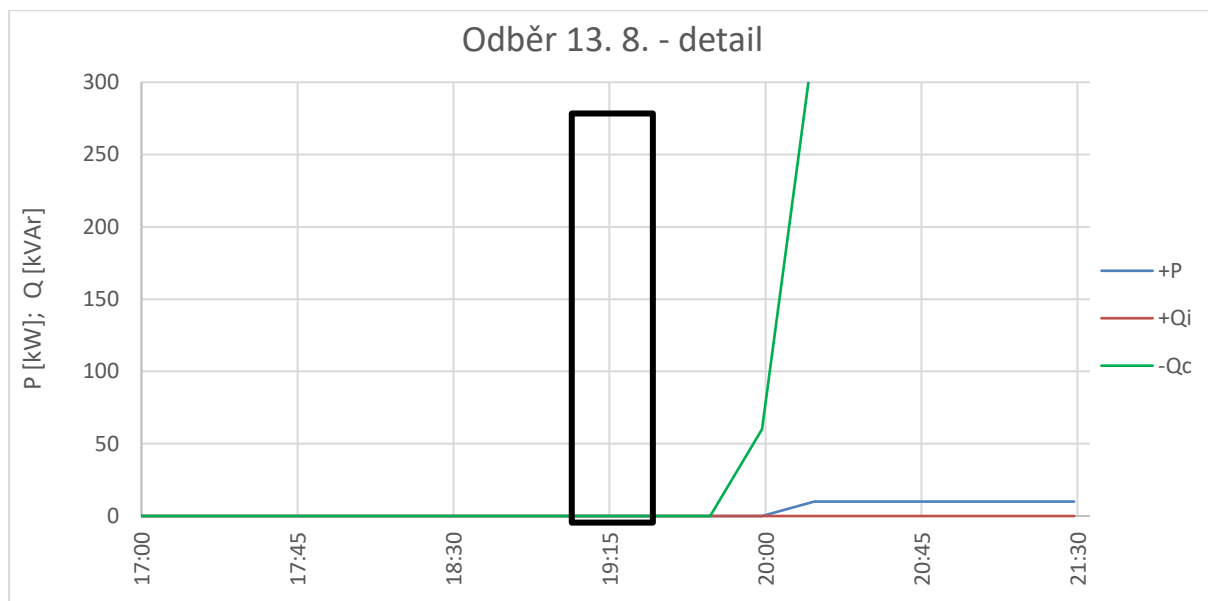
Na obr. 73 a 74 jsou zobrazeny detaily průběhů výkonů v době zemního spojení.



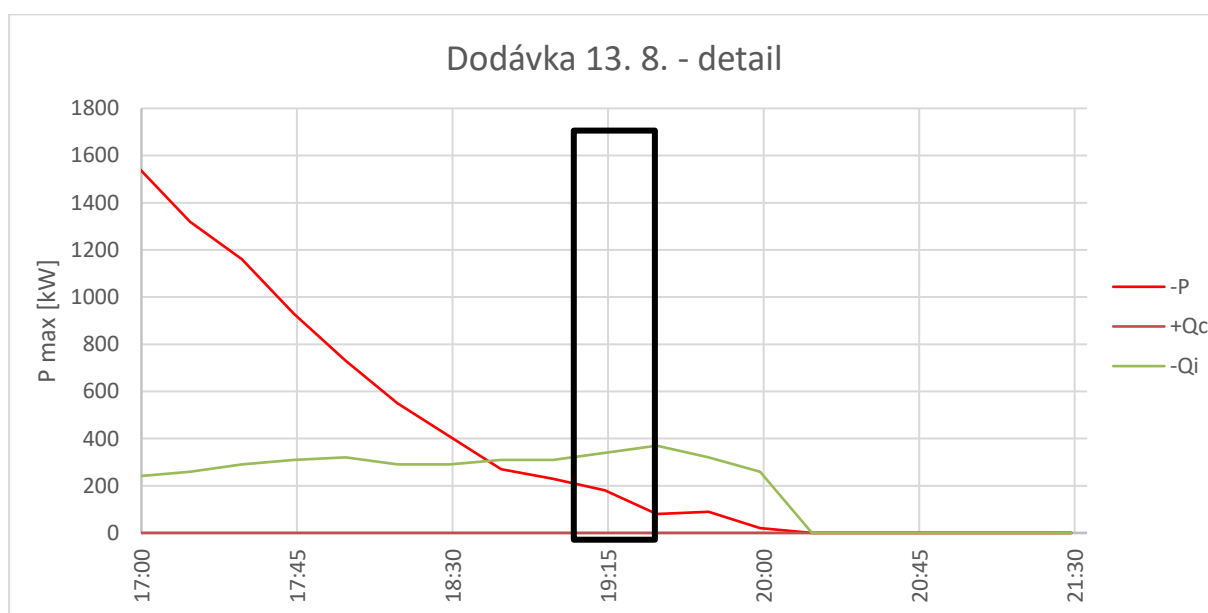
Obr. 73 Dvoudenní průběh při odběru činného výkonu místa C1, třísystémové měření



Obr. 74 Dvoudenní průběh při dodávce činného výkonu místa C1, třísystémové měření



Obr. 75 Průběh při odběru činného výkonu místa C1 s vyznačenou dobou zemního spojení, třísystémové měření



Obr. 76 Průběh při dodávce činného výkonu místa C1 s vyznačenou dobou zemního spojení, třísystémové měření

V detailním grafickém zobrazení naměřených dat není zjevná žádná anomálie. Z naměřeného průběhu lze usoudit, že zemní spojení nemělo vliv na naměřené údaje.

5.3.5 Závěrečná analýza případu C

Analýza dat ze dne 4. 1. případu C je shodná se závěry případu B:

- Při potvrzeném zemním spojení nebyla u odběrného místa bez výroby zjištěna žádná anomálie. Nedošlo k žádným špičkám v dosažených čtvrt hodinových maximech činného výkonu.
- Pouze u výroby došlo vlivem poruchového stavu ke změně. Měřicí systém zaznamenal v inkriminované čtvrt hodině špičku odebíraného činného výkonu představující téměř devítinásobek běžně dosahovaných hodnot čtvrt hodinového maxima.
- Dosažený elektrický výkon nemohl být spotřebován spotřebiči v odběrném místě. Nejsou zde instalované žádné spotřebiče, které by takové množství elektrického výkonu mohly odebrat.
- Přechod z generátorického do motorického režimu je u fotovoltaické elektrárny nemožný.
- Zajímavým výstupem z měření místa C1 je dodávka jalového výkonu kapacitního charakteru, která se objevuje při odběru činného výkonu.

Analýza dat poruchového stavu v Aronově zapojení ze dne 7. 8.

- Při srovnatelném poruchovém stavu v DS nebyla naměřena žádná špička překračující standardní hodnoty čtvrt hodinového činného výkonu.

Analýza dat poruchového stavu v třísystémovém zapojení ze dne 13. 8.

- Po změně v zapojení měřicího systému, nebyla při srovnatelném poruchovém stavu v DS naměřena žádná špička překračující standardní hodnoty čtvrt hodinového činného výkonu. V odběrném místě je tento měřicí systém instalován poměrně krátkou dobu. Je zde i malý počet zaznamenaných poruchových dějů v DS. Proto nelze jednoznačně říct, zda je třísystémové zapojení měření přesnější oproti dvousystémovému zapojení.

6. Závěr

Důvodem k sepsání této diplomové práce byly podněty podané ze strany výrobců ohledně překročení sjednaných smluvních hodnot rezervovaného příkonu. Tato překročení vedou k vyšším finančním nákladům výrobců z důvodu účtování ceny za překročení sjednaných hodnot. Výrobci nejčastěji opouští, že celkové instalované příkony spotřebičů v daném odběrném a předávacím místě neodpovídají naměřenému odebranému čtvrt hodinovému výkonu. Připojení dalších spotřebičů je vzhledem ke skokovému, ojedinělým naměřeným špičkám nepravděpodobný. Práce je zaměřena na analýzu naměřených špiček, ověření provedení měřicího systému a porovnání s údaji, ze kterých lze vyvodit stavy v DS.

V rámci úvodního rozboru naměřených dat z odběrných a předávacích míst byly u daných případů shledány souvislosti s překročením rezervovaného příkonu a zemního spojení v kombinaci s měřicím systémem v Aronově zapojení. Ovšem podrobnější analýzou nebyly tyto souvislosti potvrzeny u odběrných míst v kombinaci s jinými měřicími systémy.

Existují případy, kdy měřicí systém v Aronově zapojení měří abnormálně vysoké špičky odebíraných čtvrt hodinových výkonů při poruchových stavech v DS. Zároveň existují případy, kdy měřicí systém v Aronově zapojení nevyhodnotil podezřelé změny v odebíraném čtvrt hodinovém výkonu po dobu působení poruchového stavu. U jednoho ze sledovaných míst došlo ke změně zapojení měřicího systému z Aronova zapojení na třísystémové měření. Po provedené změně nebyla nalezena událost v DS, která by způsobila naměření špičky obdobně jak v Aronově zapojení. To vedlo k dalšímu zkoumání naměřených dat a provedení měřicího systému, v rámci kterého byly zjištěny následující faktory omezující přesnost provedené analýzy.

Prvním faktorem ovlivňující přesnost je malá vzorkovací frekvence odebíraného výkonu zaznamenaného z fakturačního měření. Fakturační elektroměr integruje výkon po dobu 15 minut. Dosahovaný okamžitý výkon může nabývat ještě větších hodnot, které by bylo možné naměřit jen za použití přístroje s větší vzorkovací frekvencí. Druhým faktorem je absence informací o průbězích proudu ve všech fázích. V Aronově zapojení se měří pouze dva fázové proudy. Pro podrobnou analýzu jsou tyto údaje nedostatečné a doporučením je měřit průběhy proudu ve všech fázích. Z toho důvodu nebylo možné ověřit hypotézu, že vliv na naměřená data v době poruchy se projeví pouze v případě, kdy je zemní spojení ve fázi, která není měřena v Aronově zapojení měřicího systému. Třetím faktorem je, že měření výkonu v Aronově zapojení funguje na principu měření sdružených napětí. Tato sdružená napětí se v případě zemních spojení mění, což může ovlivnit měření výkonu. Vhodným řešením je měření fázových napětí při měření fázových proudů dle předchozího odstavce. Čtvrtým faktorem je splnění podmínky Aronova zapojení spočívající v oddělení uzlu zátěže a uzlu zdroje. Za této podmínky je Aronovo zapojení schopno přesně měřit i výkony nesymetrické zátěže. Uzel hvězdy MTN je však uzemněn. Sekundární vinutí napájecího transformátoru je zapojeno do hvězdy. Zemní spojení může hypoteticky vést ke galvanickému propojení uzlu zátěže s uzlem zdroje a tím k porušení podmínky.

Vliv výše uvedených faktorů lze omezit sestavením modelu třífázového vedení v laboratoři fakulty. Na modelu by bylo možné simulovat různé poruchové stavy a měřit třífázový výkon wattmetry v různém zapojení. Bohužel laboratoře byly pro tyto účely uzavřeny kvůli zamezení šíření koronavirového onemocnění COVID-19, proto nebylo možné model sestavit a provést patřičné simulace. Sám jsem tímto onemocněním v závěru roku 2020 prošel.

7. Seznam literatury

- [1] 359/2020 Sb. Vyhláška o měření elektřiny. Zákony pro lidi - Sbírka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění [online]. Copyright © AION CS, s.r.o. 2010 [cit. 26.04.2021].
Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-359>
- [2] 458/2000 Sb. Energetický zákon. Zákony pro lidi - Sbírka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění [online]. Copyright © AION CS, s.r.o. 2010 [cit. 26.04.2021].
Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-458>
- [3] 120/2016 Sb. Nařízení vlády o posuzování shody měřidel při jejich dodávání na trh. Zákony pro lidi - Sbírka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění [online]. Copyright © AION CS, s.r.o. 2010 [cit. 26.04.2021]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-120>
- [4] 408/2016 Sb. Vyhláška o požadavcích na systém řízení. Zákony pro lidi - Sbírka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění [online]. Copyright © AION CS, s.r.o. 2010 [cit. 26.04.2021].
Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-408>
- [5] 505/1990 Sb. Zákon o metrologii. Zákony pro lidi - Sbírka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění [online]. Copyright © AION CS, s.r.o. 2010 [cit. 26.04.2021].
Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1990-505>
- [6] ČEZ Distribuce [online]. Copyright © [cit. 26.04.2021]. Dostupné z: https://www.cezdistribuce.cz/webpublic/file/edee/distribuce/ppds/ppds-2017_priloha-5.pdf
- [7] 345/2002 Sb. Vyhláška, kterou se stanoví měřidla k povinnému ověřování a měřidla podléhající schválení typu. Zákony pro lidi - Sbírka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění [online]. Copyright © AION CS, s.r.o. 2010 [cit. 26.04.2021].
Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2002-345>
- [8] Elektroměry Historie a současnost - PDF Stažení zdarma. Představujeme Vám pohodlné a bezplatné nástroje pro publikování a sdílení informací. [online]. Copyright © DocPlayer.cz [cit. 26.04.2021]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/5483361-Elektromery-historie-a-soucasnost.html>
- [9] BARTUŠEK, Karel, GESCHIEDTOVÁ, Eva, KUBÁSEK, Radek, MIKULKA, Jan, REZ, Jiří, STEINBAUER, Miloslav, Měření v elektrotechnice. Vyd. 2 VUT v Brně: Nakladatelství VUTIUM, 2010
- [10] FAJT, Václav, HAASZ, Vladimír, SEDLÁČEK, Miloš, Elektrická měření, ČVUT v Praze, 1996
- [11] HAASZ, Vladimír a kolektiv, Elektrická měření, Přístroje a metody, Vyd. 3, ČVUT v Praze: Nakladatelství ČVUT, 2018